

Lambe Barandovski • Marija Velevska

FIZIKË PËR VITIN II

arsimi i mesëm-gjimnaz



Lambe Barandovski
Marija Velevska



Shkup, 2026

Autorët:

**Prof. Dr. Lambe Barandovski – Instituti i Fizikës, Fakulteti i Shkencave Matematike-Natyrore – Shkup,
Universiteti „Shën Kirili dhe Metodi“ – Shkup**

Marija Velevska – SHMGJ „Orce Nikollov“ – Shkup

Recensentë:

**Prof. Dr. Atanas Tanushevski – Fakulteti i Shkencave Matematike-Natyrore – Shkup,
Universiteti „Shën Kirili dhe Metodi“ – Shkup**

**Prof. Dr. Katerina Drogreshka – UKIM – Observatori Sizmologjik – Fakulteti i Shkencave Matematike-
Natyrore – Shkup, Universiteti „Shën Kirili dhe Metodi“ – Shkup**

Elizabeta Popovska – SHMGJ „Orce Nikollov“ – Shkup

Me vendim të Komisionit Kombëtar për Tekste Shkollore të Republikës së Maqedonisë së Veriut, të miratuar më 27.04.2026, të regjistruar me nr. 26-559/1, më 04.05.2026, nga Ministria e Arsimit dhe Shkencës e Republikës së Maqedonisë së Veriut, Shërbimi Pedagogjik, miratohet përdorimi i tekstit shkollor për lëndën mësimore Fizikë për vitin e dytë (II) të arsimit të mesëm gjimnazial.

Të dashur nxënës,

Në vitin e dytë, në lëndën e fizikës, do t'i thelloni njohuritë tuaja për dukuritë dhe ligjet që përshkruajnë natyrën, por do të njiheni edhe me idetë themelore të fizikës moderne. Në këtë libër do të trajtohen tema ku përshkrimi klasik plotësohet me koncepte dhe modele të reja, veçanërisht në fushën e fizikës atomike dhe bërthamore. Gjithashtu, do të mësoni për zbatimin e tyre në shumë fusha të shkencës, teknikës, mjekësisë dhe mbrojtjes së mjedisit.

Libri është i organizuar në mënyrë që çdo mësim të lidhet logjikisht me mësimin paraprak. Konceptet prezantohen gradualisht, përmes përkufizimeve formale, shpjegimeve dhe shembujve që theksojnë kuptimin fizik të madhësive dhe ligjeve. Shembujt e zgjidhur tregojnë qasjen standarde për llogaritje dhe analizë dhe kanë për qëllim të nxisin të menduarit kritik dhe imagjinatën gjatë zgjidhjes së problemeve të përditshme. Pyetjet dhe detyrat në fund të çdo mësimi janë të destinuara për ushtrime të pavarura dhe për kontrollin e njohurive. Në disa mësimë ka edhe rubrika shtesë për ata që dëshirojnë të mësojnë më shumë sesa është paraparë në programin mësimor.

Në këtë libër i është kushtuar vëmendje e veçantë lidhjes së teorisë me praktikën. Teksti përfshin propozime për demonstrime dhe aktivitete me të cilat mund të vërtetohen ose të ilustrohen dukuritë e trajtuara, si dhe shembuj të zbatimit të fizikës në teknologji, mjekësi, energjetikë dhe në jetën e përditshme. Gjithashtu, biografitë e shkurtra të disa shkencëtarëve dhe shkencëtareve kanë për qëllim të paraqesin zhvillimin historik të ideve të veçanta dhe mënyrën se si zbulimet shkencore vërtetohen përmes eksperimenteve dhe verifikimit.

Qëllimi i studimit të fizikës në vitin e dytë nuk është vetëm përvetësimi i formulave, por edhe zhvillimi i aftësisë për arsyetim logjik dhe të menduarit brenda një modeli të caktuar, si dhe analiza kritike e rezultateve të arritura..

Ju urojmë një udhëtim të suksesshëm dhe frymëzues në botën e fizikës.

Autorët

LEGJENDA



SHEMBULL I ZGJIDHUR



AKTIVITETE



PYETJE DHE DETYRA



MËSO MË SHUMË



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME



SHKENCËTAR/SHKENCËTARE E NJOHUR

PËRMBAJTJA

TEMA 1. ELEKTROMAGNETIZMI 7

1.1.Elektrizimi trupave	8
1.2.Ligji i Kulonit	13
1.3.Fusha elektrike.....	18
1.4.Potenciali elektrik dhe tensioni.....	25
1.5.Kapaciteti elektrik. Kondensatorët	31
1.6.Rryma elektrike.....	37
1.7.Rezistenca elektrike. Rezistorët	42
1.8.Ligji i Omit për një pjesë të qarkut dhe për tërë qarkun elektrik.....	48
1.9.Rregullat e Kirhofit	53
1.10.Lidhja e rezistorëve	58
1.11.Lidhja e kondensatorëve	62
1.12.Puna, energjia dhe fuqia e rrymës elektrike. Ligji i Xhul-Lencit	66
1.13.Rryma elektrike në lëngje dhe gaze	70
1.14.Fusha magnetike	75
1.15.Forcat magnetike	81
1.16.Vetitë magnetike të materialeve	89

TEMA 2. OSCILIMET MEKANIKE DHE VALËT 97

2.1.Oscilimet mekanike dhe oscilatori harmonik.....	98
2.2.Shembuj të oscilatorëve harmonik: oscilatori elastik dhe lavjerrësi matematik	104
2.3.Energjia e lëvizjeve osciluese.....	109
2.4.Valët mekanike.....	114
2.5.Pasqyrimi dhe përthyerja e valëve	122
2.6.Zëri dhe karakteristikat e zërit	129
2.7.Mbivendosja e valëve. Valët e qëndrueshme	137
2.8.Efekti i Doplerit.....	143

TEMA 3. OPTIKA GJEOMETRIKE 153

3.1. Teoritë për natyrën e dritës. Shpejtësia e dritës	154
3.2. Pasqyrimi i dritës. Pasqyra e rrafshët.....	158
3.3. Pasqyrat sferike.....	162
3.4. Përthyerja e dritës	170
3.5. Thjerrëzat optike	176
3.6. Disperzimi i dritës	185

TEMA 4. FIZIKA ATOMIKE DHE BËRTHAMORE 191

4.1. Rrezatimi i trupit absolutisht të zi	192
4.2. Efekti fotoelektrik.....	204
4.3. Modelet e atomit	214
4.4. Spektrat emetuese dhe absorbuese të atomeve	224
4.5. Rrezet Röntgen dhe zbatimi i tyre	231
4.6. Bërthama atomike dhe forcat bërthamore	239
4.7. Radioaktiviteti natyror	244
4.8. Ligji i zbërthimit radioaktiv	255
4.9. Vargjet radioaktive	263
4.10. Energjia e lidhjes së bërthamës.....	266
4.11. Reaksionet bërthamore	271
4.12. Fisioni, fuzioni dhe reaktorët bërthamorë	277
4.13. Dozimetria dhe madhësitë dozimetrike	284

TEMA 1:

Elektromagnetizmi

Dukuritë elektrike dhe magnetike janë pjesë e jetës së përditshme, edhe pse shpesh nuk i vërejmë drejtpërdrejt. Ato përbëjnë bazën e funksionimit të pothuajse të gjitha pajisjeve moderne teknologjike – nga ndriçimi dhe pajisjet elektrike shtëpiake, deri te kompjuterët, sistemet e telekomunikacionit dhe pajisjet mjekësore. Të kuptuarit e këtyre dukurive është thelbësore për të kuptuar botën moderne.

Dega e fizikës që studion dukuritë elektrike dhe magnetike, si dhe lidhjen e tyre të ndërsjellë, quhet elektromagnetizëm. Në këtë temë do të njihesh me ngarkesën elektrike, fushën elektrike dhe magnetike, rrymën elektrike dhe vetitë e tyre themelore, si edhe me ligjet fizike që përshkruajnë bashkëveprimin ndërmjet tyre.

Vëmendje e veçantë do t'i kushtohet rrymës elektrike dhe efekteve të saj, si dhe lidhjes ndërmjet dukurive elektrike dhe magnetike. Studimi i elektromagnetizmit mundëson një kuptim më të mirë të dukurive natyrore dhe të sistemeve teknike që na rrethojnë, duke përbërë një bazë të rëndësishme për studimin e mëtejshëm të fizikës moderne.

Rezultatet e të nxënit

Nxënësi/nxënësja do të jetë në gjendje të:

1. të shpjegojë dukuritë e elektrizimit dhe bashkëveprimin e trupave të elektrizuar nëpërmjet fushës elektrike;
2. të lidhë elemente në qarqe elektrike të përbëra, të përcaktojë karakteristikat e rrymës elektrike në qarqe elektrike të përbëra dhe të shpjegojë mënyrat se si mund të ndryshojnë vlerat e tyre;
3. të shpjegojë rrjedhjen e rrymës elektrike nëpër metale, lëngje dhe gaze si dhe efektet që ajo i shkakton;
4. të përshkruaj lidhjen ndërmjet dukurive elektrike dhe magnetike në natyrë dhe zbatimin e tyre në jetën e përditshme;
5. të dallojë punën elektrike nga fuqia elektrike dhe të llogarisë energjinë elektrike të konsumuar në amvisëri;
6. të zbatojë ligjet dhe lidhjet për zgjidhjen e detyrave nga elektriciteti dhe magnetizmi.

1.1. Elektrizimi i trupave

Dihet se gjatë krehjes së flokëve me një krehër plastik, ai fillon t'i tërheqë fjetet e flokëve. Në mënyrë të ngjashme, nëse një tullumbace e fryrë fërkohet me flokët, ajo gjithashtu i tërheq flokët (figura 1). Sipas ligjit të tretë të Njutonit, tullumbacja i tërheq flokët, por në të njëjtën kohë edhe flokët e tërheqin tullumbacen. Kjo dukuri është pasojë e elektrizimit të trupave.

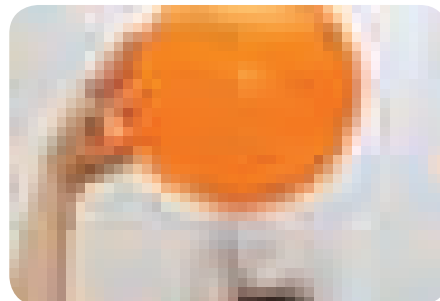


Figura 1. Bashkëveprimi ndërmjet tullumbaces dhe flokëve.

Ndërtimi i atomit

Shpjegimi i elektrizimit qëndron në ndërtimin e atomit. Çdo atom përbëhet nga bërthama dhe mbështjellësi elektronik (figura 2). Bërthama ndodhet në pjesën qendrore të atomit dhe përbëhet nga protonet dhe neutronet¹. Protonet janë grimca me ngarkesë pozitive, ndërsa neutronet janë grimca neutrale (grimca të paelektrizuara). Mbështjellësi elektronik është hapësira rreth bërthamës në të cilën lëvizin elektronet. Elektronet janë grimca me ngarkesë negative dhe madhësia e ngarkesës së tyre elektrike është e barabartë me ngarkesën elektrike të protonit. Në çdo atom numri i protoneve është i barabartë me numrin e elektroneve, gjegjësisht atomet janë elektroneutrale. Prandaj edhe trupat janë elektroneutralë.

Ngarkesa e elektronit dhe e protonit është sasia më e vogël e mundshme e elektricitetit në natyrë dhe quhet ngarkesë elektrike elementare. Madhësia e saj është $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C. Ngarkesa e çdo trupi të elektrizuar është numër i plotë multipël i ngarkesës elektrike elementare, respektivisht

$$q = Ne.$$

Njësia e ngarkesës elektrike quhet kulon dhe shënohet me 1 C. Sipas marrëveshjes, ngarkesat negative shënohen me vlera negative (për shembull, $q_1 = -2$ C), ndërsa ngarkesat pozitive me vlera pozitive (për shembull, $q_2 = 3$ C).

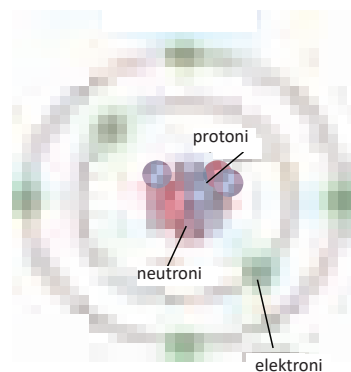


Figura 2. Atomi i karbonit ($^{12}_6\text{C}$) në bërthamën e tij ka gjashtë protone dhe gjashtë neutrone ndërsa në mbështjellësin elektronik ka gjashtë elektrone

Bashkëveprimi ndërmjet ngarkesave elektrike

Gjatë fërkimit të tullumbaces me flokët, elektronet kalojnë nga flokët te tullumbacja. Në këtë mënyrë, tullumbacja merr **tepricë elektronesh** dhe **elektrizohet negativisht**, ndërsa flokët kanë **mungesë elektronesh** dhe **elektrizohen pozitivisht**. Procesi gjatë të cilit trupat neutralë bëhen të elektrizuar quhet elektrizim.



AKTIVITETI 1.

Merr dy tullumbace të vogla të lidhura me fije. Fërkoji tullumbacet me flokët. Më pas, vari ato pranë njëra-tjetrës. A tërhiqen apo dëbohen ato nga njëra-tjetra? Analizo figurën 3 dhe nxirr përfundimin nga ky aktivitet.

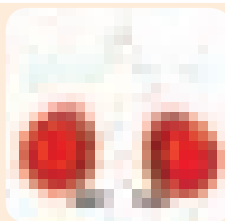


Figura 3. Dy tullumbace të fërkua me flokët dëbohen nga njëra tjetra

Dy tullumbacet në Aktivitetin 1 janë prej të njëjtit material, i cili gjatë fërkimit me flokët pranon elektrone. Prandaj, gjatë elektrizimit të dyja tullumbacet fitojnë tepriçë elektronësh dhe bëhen të ngarkuara me të njëjtin lloj ngarkese, përkatësisht me ngarkesë negative. E njëjta gjë vlen edhe për fijet e flokëve, por ato nuk ngarkohen negativisht, por pozitivisht, (një pjesë e elektroneve nga flokët kalon te tullumbacja, duke bërë që flokët të kenë mungesë elektronësh). Në figurën 1 shihet se fijet e flokëve shtyhen mes tyre, ashtu siç shtyhen edhe tullumbacet në figurën 3. Gjithashtu, nga figura 1 vërehet se flokët dhe tullumbacja tërhiqen mes tyre. Nga këta shembuj mund të përfundojmë se **trupat e elektrizuar me ngarkesë të njëjtë shtyhen, ndërsa trupat e elektrizuar me ngarkesa të kundërta tërhiqen**.

Elektrizimi me fërkim

Kur dy trupa fërkohen me njëri-tjetrin, një pjesë e elektroneve kalojnë nga njëri trup te tjetri. Trupi që lëshon elektrone elektrizohet pozitivisht, ndërsa trupi që merr elektrone elektrizohet negativisht. Goma nga e cila është bërë tullumbacja nuk i lëshon lehtë elektronet. Nga ana tjetër, gjatë kontaktit mekanik, keratina (**proteinë fijore në përbërjen e flokëve**) i lëshon lehtë elektronet sepse ato janë më dobët të lidhura me atomet. Një shkop qelqi, kur fërkohet me një copë leshi, elektrizohet pozitivisht ndërsa një shkop plastike kur fërkohet me një copë leshi elektrizohet negativisht. Kjo mënyrë e elektrizimit të trupave quhet **elektrizim me fërkim**.

Nëse një trup është i elektrizuar apo jo, mund të përcaktohet me ndihmën e elektroskopit (figura 4). Elektroskopi përbëhet nga dy elektroda metalike. Njëra është kutia e jashtme metalike e mbyllur me dritare prej xhami e cila quhet mbështjellës (shtëpizë) ndërsa tjetra është elektroda e brendshme e cila në pjesën e poshtme përfundon me dy fletëza të holla metalike. Mbështjellësi është vendosur mbi një stativ izolues. Elektroda e brendshme është e izoluar nga mbështjellësi i elektroskopit dhe në pjesën e sipërme përfundon me kokën e elektroskopit- pllakë metalike ose një sferë metalike.

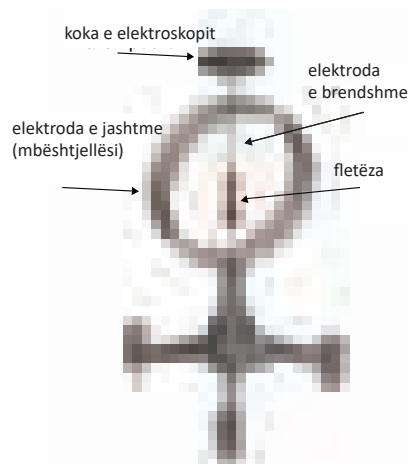


Figura 4.
Elektroskopi

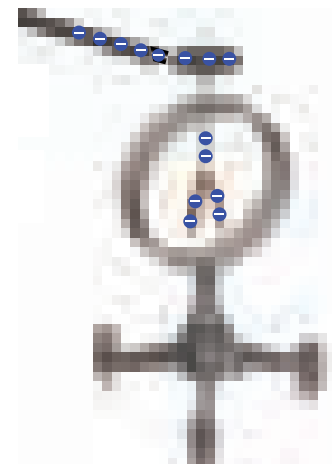


Figura 5.
Elektroskopi i elektrizuar me prekje

Elektrizimi me prekje



AKTIVITETI 2.

Prek me shkop të elektrizuar negativisht (shkop plastik i fërkuar me një copë leshi) në kokën e një elektroskopi të paelektrozuar. Çfarë ndodh me fletëzat e elektroskopit?

Me siguri ke vërejtur se fletëzat e elektroskopit largohen nga njëra-tjetra (figura 5). Gjatë prekjes, elektronet nga shkopi kalojnë në kokën e elektroskopit. Meqenëse elektroda e brendshme dhe fletëzat janë të bëra nga material përçues, elektronet shpërndahen në të gjithë elektrodën e brendshme dhe në fletëza. Duke qenë se fletëzat janë të lëvizshme dhe janë të elektrizuara me ngarkesë të njëjtë, ato shtyhen me njëra-tjetrën. Pra, gjatë prekjes së një shkopi të elektrizuar negativisht me elektroskopin, ai elektrizohet me të njëjtën shenjë, në këtë rast negativisht.

Elektrizimi me prekje është proces gjatë të cilit një trup neutral bëhet i elektrizuar sepse bie në kontakt të drejtpërdrejtë me një trup tjetër që tashmë është i elektrizuar.

Shpjego procesin e elektrizimit të elektroskopit gjatë prekjes me një shkop të elektrizuar pozitivisht (një shkop qelqi i fërkuar me një leckë leshi). Me çfarë ngarkese do të elektrizohet elektroskopi?

Elektrizimi me ndikim (influencë)



AKTIVITETI 3.

Afro një shkop të elektrizuar negativisht (një shkop plastik të fërkuar me një leckë leshi) pranë një elektroskopit të paelektrozuar, pa e prekur atë. Çfarë vëren?

Dukuria e vërejtur mund të shpjegohet me rishpërndarjen e ngarkesave elektrike në elektroskop nën ndikimin e shkopi të elektrizuar. Meqenëse koka e elektroskopit është prej materiali përçues, elektronet mund të lëvizin lirshëm. Për shkak se elektronet nga shkopi dhe elektronet e lira në kokën e elektroskopit shtyhen, ato zhvendosen sa më larg që të jetë e mundur nga shkopi, pra drejt fletëzave të elektroskopit. Kështu, në pjesën e elektroskopit që ndodhet më larg shkopi do të grumbullohen elektrone, prandaj aty do të ketë tepriçë të ngarkesës negative. Në kokën e elektroskopit që është më afër shkopi do të mungojnë elektrone, domethënë ajo do të jetë e elektrizuar pozitivisht (figura 6). Në këtë mënyrë, pa prekje ndodh **rishpërndarja e ngarkesave elektrike**.

Nëse e largojmë shkopin, do të vërejmë se fletëzat e elektroskopit kthehen në pozitën e mëparshme, ashtu siç ishin më parë, gjë që tregon se ky lloj elektrizimi nuk është i përhershëm. Nëse, derisa shkopi është pranë kokës së elektroskopit, e prekim kokën me gisht, elektronet e lira do të kalojnë përmes gishtit në Tokë, duke u përpjekur të largohen sa më shumë nga shkopi plastik. Nëse fillimisht e largojmë gishtin dhe më pas shkopin, elektroskopi do të mbetet i elektrizuar pozitivisht. Këtë mënyrë të shpërndarjes së ngarkesave e quajmë **elektrizim me ndikim ose elektrizim me influencë**.

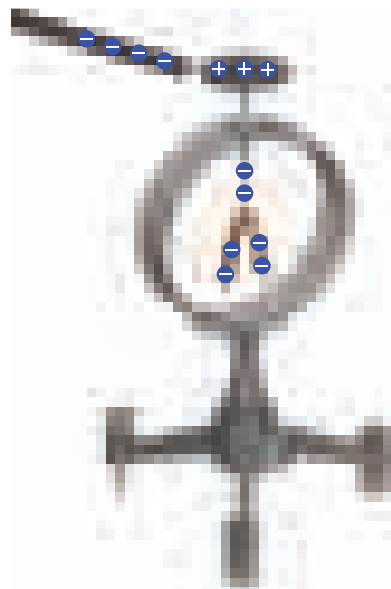


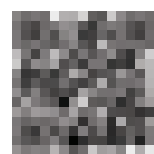
Figura 6. Elektrizimi me ndikim (influencë)



AKTIVITETI 4.

Hap simulimin „Electroscope - JavaLab“ në lidhjen e mëposhtme: https://javalab.org/en/electroscope_en/

Afro shkopin e elektrizuar pranë elektroskopit. Ndërsa shkopi ndodhet pranë elektroskopit, preke elektroskopin me dorë. Çfarë ndodh? Përsërite procedurën me një shkop të elektrizuar pozitivisht.



Elektrizimi me prekje



AKTIVITETI 5.

Në dy elektroskopa janë vendosur sfera metalike të njëjta. Njërin e elektrizojmë me prekje (duke e prekur me një shkop qelqi të fërkuar më parë me një leckë leshi), ndërsa tjetri mbetet elektroneutral (figura 7a).

Më pas, të dy elektroskopët i lidhim me një shufër metalik që ka dorezë prej druri. Do të vërejmë se menjëherë pas lidhjes elektrizohet edhe elektroskopi neutral (figura 7b). Nëse e përsërisim të njëjtin eksperiment, por në vend të shufrës metalike përdorim një shufër druri, do të shohim se treguesi i elektroskopit neutral nuk do të lëviz (figura 7c).

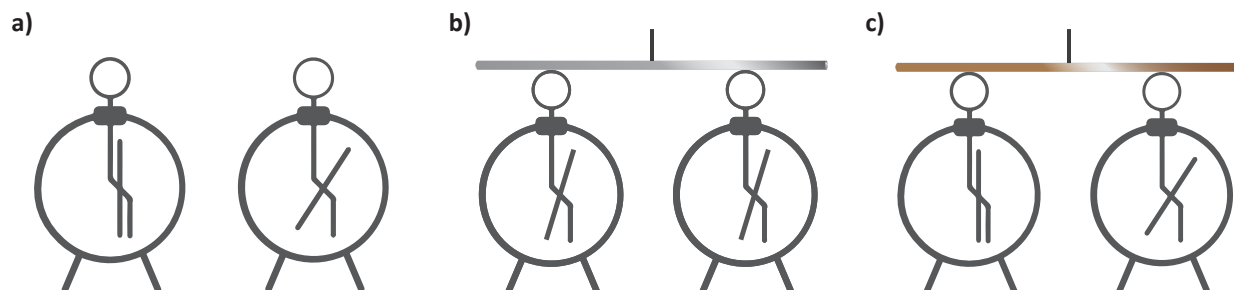


Figura 7. a) Elektroskop i paelektrozuar dhe elektroskop i elektrizuar para lidhjes me një shufër metalike, b) elektroskopët janë të lidhur me një përçues, c) elektroskopët janë të lidhur me një izolator.

Shufra metalike mundëson kalimin e elektroneve nga një trup në tjetrin dhe për këtë arsye quhet përçues. Përçuesit janë substanca nëpër të cilat grimcat e elektrizuara mund të lëvizin lirshëm. Në këtë grup bëjnë pjesë të gjitha metalet, të cilat bartës të ngarkesës janë elektronet e lira si dhe tretësirat e kripërave, bazave dhe acideve, përkatësisht elektrolitet ku bartës të ngarkesës janë jonet² pozitive dhe negative. Përçues mund të jenë edhe gazrat, por vetëm në kushte të caktuara kur është i mundur jonizimi³ i gazit dhe krijimi i elektroneve dhe joneve pozitive.

Ndryshe nga shufra metalike, shufra prej druri nuk lejon kalimin e elektroneve nga një elektroskop në tjetrin. Materialet në të cilat lëvizja e lirë e grimcave të elektrizuara është e pamundur ose shumë e kufizuar quhen izolatorë ose dielektrikë. Shembuj të izolatorëve janë druri, plastika, qelqi, ajri, uji i distiluar etj.

Duhet të theksohet se kjo ndarje nuk është e prerë. Në kushte të caktuara, izolatorët mund të bëhen përçues të ngarkesës elektrike. Për shembull, nëse një shkop qelqi nxehet në temperaturë shumë të lartë në të krijohen elektrone të lira të cilat mund të lëvizin në mënyrë të kahëzuar.

Shpërndarja e ngarkesave elektrike në metale

Si shpërndahen ngarkesat elektrike në një përçues metalik?



AKTIVITETI 6.

Elektrizo një sferë metalike të vendosur mbi një izolator, me një hapje mjaft të madhe që brenda saj të mund të futet një sondë provuese gjithashtu e vendosur mbi një izolator. Sonda provuese përbëhet nga një sferë e vogël metalike e lidhur me një shufër izoluese. Me sondën provuese së pari prek pjesën e brendshme të përçuesit metalik të zbrazët pastaj prek kokën e elektroskopit. Më pas përsërite procedurën duke prekur me sondën provuese sipërfaqen e jashtme të së njëjtës sferë dhe përsëri prek elektroskopin.

Kur sonda provuese fillimisht prek pjesën e brendshme të përçuesit metalik të zbrazët dhe më pas elektroskopin, fletëzat e elektroskopit nuk shmangen, gjë që tregon se në pjesën e brendshme të përçuesit nuk ka ngarkesë elektrike. Ndërsa, kur sonda provuese prek sipërfaqen e jashtme të sferës dhe më pas

² Jonet janë atome ose molekula që për shkak të humbjes ose marrjes së elektroneve bëhen bartës të ngarkesës elektrike.

³ Procesi i ndarjes së elektroneve nga atomet neutrale ose nga molekulat quhet jonizim.

elektroskopin, fletëzat shmangen, që do të thotë se ngarkesa elektrike te përçuesit metalikë shpërndahet vetëm në sipërfaqen e jashtme.

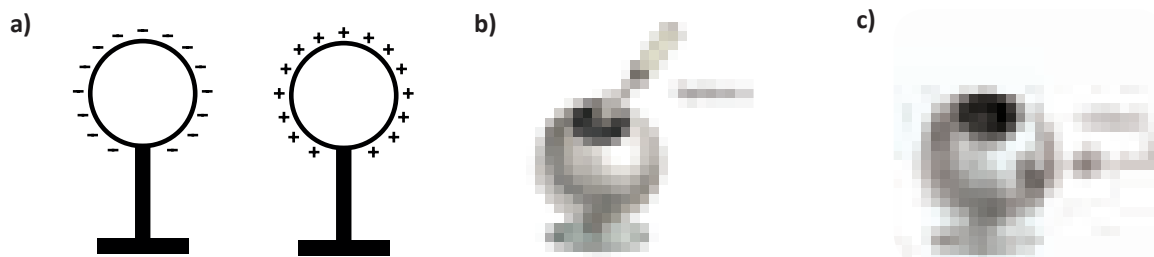


Figura 8. a) Sfera të elektrizuara. Sferat janë metalike, prandaj ngarkesa shpërndahet vetëm në sipërfaqen e jashtme të sferave b) Me një sondë provuese shqyrtojmë pjesën e brendshme të sferës dhe c) sipërfaqen e jashtme të sferës.



AKTIVITETI 7.

Tani të shqyrtojmë se si shpërndahen ngarkesat në një përçues metalik. Të elektrizojmë një trup metalik që ka një majë të mprehtë në njërin anë. Me sondën provuese, fillimisht prekim pjesën e rrafshët ose më pak të lakuar të trupit dhe më pas kokën e elektroskopit. Pastaj, elektroskopin dhe sondën provuese i shkarkojmë nga ngarkesa elektrike. Përsërite demonstrimin (trupin përsëri elektrizohet njësoj si në hapin e parë), por tani me të njëjtën sondë provuese prekim majën e mprehtë të përçuesit dhe më pas kokën e elektroskopit. Çfarë vëreni?

Rezultatet e aktivitetit të kryer mund të shpjegohen me mënyrën se si ngarkesa elektrike shpërndahet në sipërfaqen e një përçuesi metalik. Fletëzat e elektroskopit shmangen pak kur me sondën provuese prekim pjesën e rrafshët ose më pak të lakuar të trupit. Kur me të njëjtën sondë provuese prekim majën e mprehtë të përçuesit, shmangia e fletëzave të elektroskopit është më e madhe. Mund të përfundojmë se ngarkesat elektrike janë më të përqendruara në sipërfaqen e jashtme të pjesëve të mprehta (më të lakuara) të përçuesve (figura 9).

Ligji i ruajtjes së ngarkesës elektrike

Kur fërkojmë një tullumbace me flokët, elektronet nga flokët kalojnë te tullumbacja. Si pasojë, tullumbacja ngarkohet negativisht, ndërsa flokët ngarkohen pozitivisht, por ngarkesa totale në sistemin tullumbace–flokë mbetet e pandryshuar. Gjatë kalimit të ngarkesave elektrike nga një trup në tjetrin ose gjatë rishpërndarjes së tyre brenda një trupi, ngarkesa totale elektrike e sistemit të trupave ruhet, pra mbetet konstante. Ky pohim përbën një nga ligjet themelore të natyrës: Ligjin e ruajtjes së ngarkesës elektrike.

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.}$$

ku q është sasia totale e ngarkesës elektrike në sistem, ndërsa $q_1, q_2, \dots, q_n$ janë sasi të ngarkesës elektrike të trupave në sistemin e izoluar.

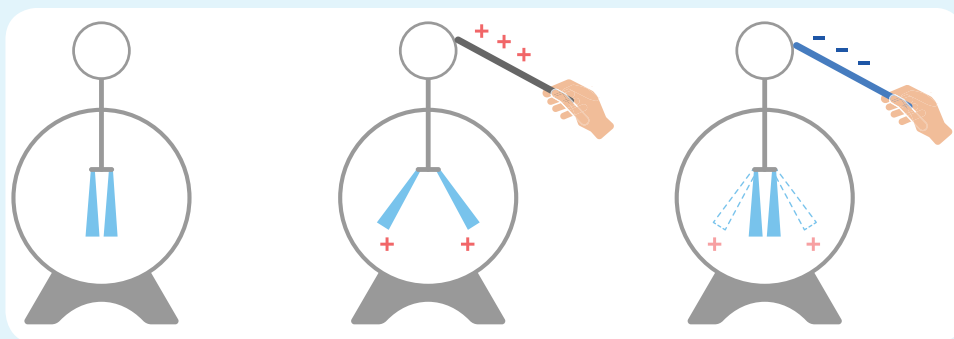


Figura 9. Shpërndarja e ngarkesës te një përçues me majë të mprehtë

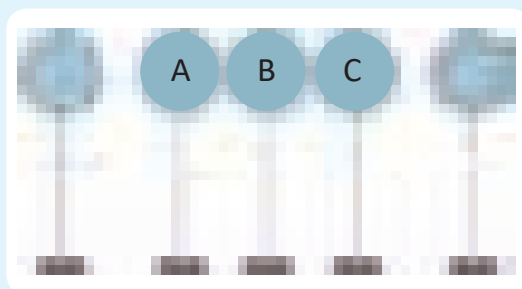


PYETJE DHE DETYRA

1. Trego dallimet midis forcës gravitacionale dhe forcës elektrostатike. A mund të veprojnë njëkohësisht në të njëjtën hapësirë forca gravitacionale dhe ajo elektrostатike?
2. Cilat janë mënyrat e elektrizimit të trupave?
3. Në bazë të cilës veti të trupave të elektrizuar funksionon elektroskopi?
4. A mund të elektrizohet me fërkim një sferë metalike që mbahet në dorë? Shpjego përgjigjen.
5. Shpjego në çfarë mënyre elektrizohen retë.
6. Shpjego procedurën që është paraqitur në figurën e mëposhtme.



7. Në figurë janë paraqitur sfera metalike identike, të vendosura në mbajtëse izoluese. Sferat A, B dhe C janë elektroneutrale dhe janë në kontakt me njëra-tjetrën. Nga të dyja anët e sferave afrohen në mënyrë simetrike dy sfera të elektrizuara (identike me sferat A, B dhe C), të cilat kanë ngarkesa me madhësi të njëjtë, por me shenja të kundërta. A do të elektrizohen sferat A, B dhe C apo do të mbeten elektroneutrale? Nëse mendon se do të elektrizohen, shpjego se si do të elektrizohet secila sferë.



1.2. Ligji i Kulonit

Forca e gravitetit na mban në sipërfaqen e Tokës, por çfarë i mban elektronet të lidhura me bërthamën e atomit? Këtë rol e ka forca elektrostатike ndërmjet ngarkesave elektrike. Ajo është shumëfish më e madhe se forca gravitacionale ndërmjet protoneve dhe elektroneve dhe siguron qëndrueshmërinë e atomeve.

Për shumë vite, madhësia e forcës me të cilën trupat e elektrizuar (ose ngarkesat elektrike) bashkëveprojnë është shpjeguar vetëm në mënyrë cilësore. Hulumtimet e para sistematike të mbështetura në matje janë kryer nga fizikani francez Charl Kulon, i cili zbuloi ligjin themelor të elektrostатikës, përkatësisht ligjin e bashkëveprimit midis ngarkesave pikësore, që sot, për nder të tij quhet Ligji i Kulonit. Për të matur forcën elektrostатike midis dy sferave të vogla të elektrizuara, Kuloni përdori peshoren e torzionit e paraqitur në figurën 1. Dy toptha ishin të fiksuar në skajet e një shufre të lehtë horizontale e cila varej në një fije shumë të hollë elastike që mund të përdredhej. Një toptë i tretë afrohej ose largohej nga njëri prej dy topthave të fiksuar në shufrën horizontale. Kur topthat ishin të elektrizuar me ngarkesa të njëjta, ata shtyheshin dhe shufra rrotullohej në një kahje;

ndërsa kur topthat ishin të elektrizuar me ngarkesa të kundërta, ata tërhiqeshin dhe shufra rrotullohej në kahjen e kundërt. Kuloni mati këndin e rrotullimit të shufrës horizontale dhe, në bazë të tij llogariti forcën që shkaktonte këtë rrotullim. Gjatë hulumtimit, Kuloni përcaktoi se si madhësia e forcës elektrostatike varet nga sasia e ngarkesës elektrike në toptha dhe nga distanca midis tyre.

Rezultatet treguan se forca elektrostatike është në përpjesëtim të drejtë me prodhimin e sasisë së ngarkesave elektrike ($F \sim q_1 \cdot q_2$) dhe në përpjesëtim të zhdrejtë me katrorin e distancës midis ngarkesave. $\left(F \sim \frac{1}{r^2}\right)$

Këto rezultate janë përmbledhur në një formulë e cila sot njihet si **Ligji i Kulonit** për bashkëveprimin elektrostatik të dy ngarkesave pikësore:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Konstanta e proporcionalitetit k është numerikisht e barabartë me forcën me të cilën në vakum (ose përafërsisht edhe në ajër) bashkëveprojnë dy ngarkesa elektrike prej 1C të vendosura në largësi 1m nga njëra-tjetra. Vlera e saj është: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ (N} \cdot \text{m}^2) / \text{C}^2$. Shpesh Ligji i Kulonit shkruhet si:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

ku ϵ_0 quhet konstanta dielektrike e vakumit. Vlera e saj është $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$. Sipas formulave të dhëna më sipër, Ligji i Kulonit thotë: Madhësia e forcës me të cilën bashkëveprojnë dy ngarkesa pikësore është në përpjesëtim të drejtë me prodhimin e madhësive të ngarkesave elektrike dhe në përpjesëtim të zhdrejtë me katrorin e distancës midis tyre.

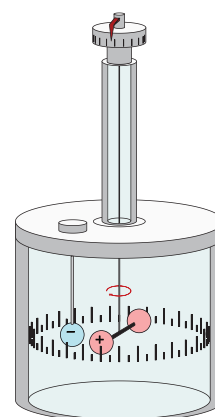


Figura 1. Peshorja e torzionit me të cilën Kuloni studioi bashkëveprimet elektrostatike midis ngarkesave pikësore.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Bërthama e heliumit (grimca α) ka ngarkesë $+2e$, ku $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Dy grimca α ndodhen në vakum në largësi $2,0 \cdot 10^{-14} \text{ m}$. Sa është forca e Kulonit me të cilën bashkëveprojnë dy grimcat α ?

Të dhënat: $q_1 = q_2 = q$ $q = +2e = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ $r = 2,0 \cdot 10^{-14} \text{ m}$ $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$	Zgjidhje: Forca e Kulonit që vepron ndërmjet dy bërthamave të heliumit mund të llogaritet me formulën: $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ Meqenëse sasia e ngarkesës elektrike e të dyja bërthamave është e njëjtë, formula mund të shkruhet në formën: $F = k \frac{q^2}{r^2}$ Nëse i zëvendësojmë vlerat numerike, për forcën e Kulonit fitojmë: $F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \frac{(3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{(2,0 \cdot 10^{-14} \text{ m})^2} = 2,3 \text{ N}.$
Kërkohet: $F - ?$	

Forca e Kulonit është madhësi vektoriale, që do të thotë se ka madhësi, drejtim dhe kahje. Drejtimi i forcës së Kulonit që vepron mbi ngarkesën q_2 përputhet me drejtimin e vijës së drejtë që lidh ngarkesat q_1 dhe q_2 (pra, me rreze-vektorin që përcakton pozicionin e q_2 ndaj q_1). Kahja e forcës varet nga lloji i ngarkesave: nëse ngarkesat kanë të njëjtën shenjë, forca është shtytëse, ndërsa nëse ngarkesat kanë shenja të kundërta, forca është tërheqëse (figura 2).

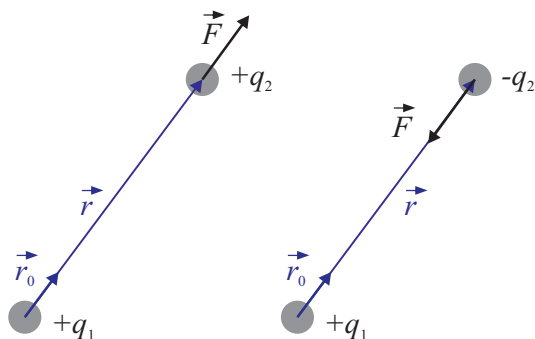


Figura 2. Drejtimi dhe kahja e forcës së Kulonit që vepron mbi ngarkesën q_2 në varësi të llojit të ngarkesës me të cilën është elektrizuar

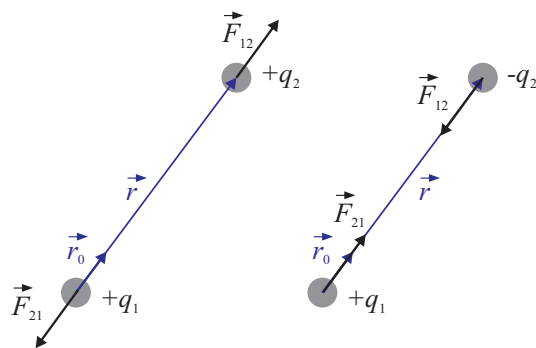


Figura 3. Ngarkesat me të njëjtën shenjë shtyhen, ndërsa ngarkesat me shenja të kundërta tërhiqen.

Sipas Ligjit të tretë të Njutonit, një forcë me të njëjtën madhësi vepron edhe mbi ngarkesën q_2 . Forcat që veprojnë mbi ngarkesat të ndryshme kanë gjithmonë të njëjtin drejtim, por kahje të kundërta, siç është paraqitur në figurën 3.

Ligji i Kulonit në formë vektoriale shkruhet si vijon:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \vec{r}_0$$

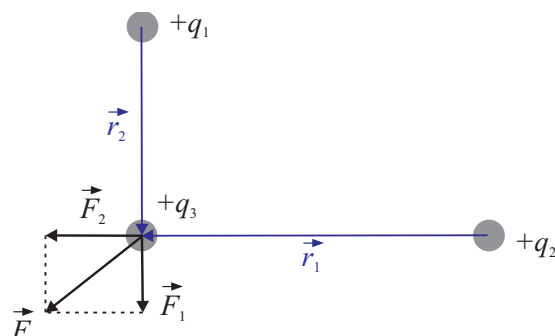
ku $\vec{r}_0$ është vektori njësi (vektor me gjatësi 1), i cili ka të njëjtin drejtim dhe kahje si reze vektori $\vec{r}$.

Në rastet kur mbi një ngarkesë veprojnë dy ose më shumë ngarkesat të tjera, përdoret parimi i superpozicionit (mbledhjes) të forcave. Sipas këtij parimi, forca e përgjithshme e Kulonit që vepron mbi një ngarkesë është shuma vektoriale e forcave të Kulonit me të cilat secila nga ngarkesat e tjera vepron mbi ngarkesën e shqyrtuar, përkatësisht:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

Në figurën 4 është paraqitur veprimi i ngarkesave q_1 dhe q_2 mbi ngarkesën q_3 . Forca rezultante është shuma vektoriale e dy forcave që veprojnë mbi ngarkesën q_3 .

Figura 4. Ngarkesat q_1 dhe q_2 veprojnë mbi ngarkesën q_3 . Forca rezultante është shuma vektoriale e forcave $\vec{F}_1$ dhe $\vec{F}_2$.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Dy ngarkesa pikësore me sasi të ngarkesës elektrike prej $6 \mu\text{C}$ dhe $24 \mu\text{C}$ janë të fiksuara në largësi 10 cm nga njëra-tjetra. Në cilën pikë ndërmjet tyre duhet të vendoset ngarkesa e tretë q_3 , në mënyrë që forca rezultante që do të veprojë mbi të, të jetë zero? A varet pika në të cilën duhet të vendoset ngarkesa q_3 nga madhësia dhe nga shenja e ngarkesës q_3 ?

Të dhënat:

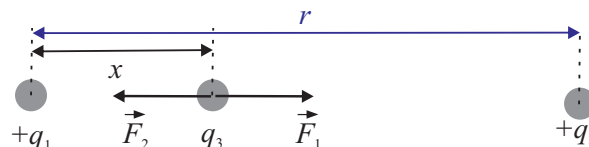
$$q_1 = 6 \mu\text{C} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ C}, \quad q_2 = 24 \mu\text{C} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ C}, \quad r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}, \quad F_R = 0$$

Kërkohet:

$x - ?$

Zgjidhje:

Për të përcaktuar kahjen e forcave me të cilat ngarkesat q_1 dhe q_2 veprojnë mbi ngarkesën q_3 , fillimisht do të supozojmë se q_3 është pozitive. Në këtë rast, forcat e Kulonit ndërmjet q_1 dhe q_3 , si dhe ndërmjet q_2 dhe q_3 janë shtytëse, prandaj kanë kahje të kundërta. Për zgjidhjen e mëtejshme të detyrës do të përdorim skemën (vizatimin).



Sipas kushtit të detyrës, forca rezultante që vepron mbi ngarkesën e tretë duhet të jetë zero, që do të thotë se:

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$$

$$k \frac{q_1 q_3}{x^2} = k \frac{q_2 q_3}{(r-x)^2} \Rightarrow \frac{q_1}{x^2} = \frac{q_2}{(r-x)^2}.$$

Duke rregulluar shprehjen e fundit për largësinë e panjohur, fitojmë:

$$\frac{(r-x)^2}{x^2} = \frac{q_2}{q_1} \Rightarrow \frac{r-x}{x} = \sqrt{\frac{q_2}{q_1}} \Rightarrow x = r \cdot \frac{\sqrt{q_1}}{\sqrt{q_1} + \sqrt{q_2}} = 3,3 \text{ cm}.$$

Nga barazimi i fundit mund të vërehet se pika ku duhet të vendoset q_3 nuk varet as nga madhësia, as nga shenja e ngarkesës së saj. Nëse problemin e zgjidhim duke supozuar se ngarkesa q_3 është negative, përsëri do të fitojmë të njëjtin rezultat.

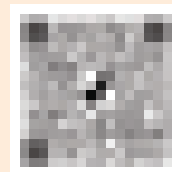
**AKTIVITETI 1.**

Varshmëria e forcës së Kulonit nga madhësia e ngarkesave elektrike dhe largësia ndërmjet tyre

Pjesa I. Varshmëria e forcës së Kulonit nga largësia ndërmjet ngarkesave

Hapat:

1. Nis simulimin [Coulomb's Law - Електростатика | Электрични сили | Force Pairs - PhET Interactive Simulations](https://phet.colorado.edu/mk/simulations/coulombs-law) (<https://phet.colorado.edu/mk/simulations/coulombs-law>)



Shënim: Zgjidh opsionin makro shkalla (Macro Scale) ku gjatësia e vizores është shprehur në centimetra. Me ndihmën e vizores mat largësinë ndërmjet

qendrave të ngarkesave 1 dhe 2. Vlerat e matura shndërroji

në njësitë themelore të SI-së (largësinë në metra dhe sasinë e ngarkesës elektrike në kulonë).

2. Sipas zgjedhjes tënde, cakto vlerat e ngarkesave të dy trupave. Pasi t'i kesh caktuar ato, vlerat e ngarkesave nuk duhet të ndryshohen gjatë matjeve të mëtejshme.

3. Zhvendosi ngarkesat në 8 largësi të ndryshme dhe

N	r (cm)	r (m)	F (N)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

plotëso tabelën: plotëso tabelën:

4. Vizato grafikun në të cilin do të paraqesësh se si varet forca e Kulonit nga largësia ndërmjet ngarkesave.

Pjesa II. Varshmëria e forcës së Kulonit nga ngarkesa e trupit të parë

1. Sipas zgjedhjes tënde, cakto vlerën e ngarkesës së trupit të dytë dhe largësinë ndërmjet dy trupave. Pasi t'i kesh caktuar këto vlera nuk duhet të ndryshohen gjatë pesë matjeve të ardhshme.

2. Ndrysho ngarkesën e trupit të parë pesë herë dhe plotëso tabelën.

3. Vizato grafikun në të cilin do të paraqesësh se si varet forca e Kulonit nga madhësia e ngarkesës së parë.

N	q_1 (C)	F (N)
1		
2		
3		
4		
5		

Pjesa III. Varshmëria e forcës së Kulonit nga ngarkesa e trupit të dytë

1. Sipas zgjedhjes tënde, cakto vlerën e ngarkesës së trupit të parë ndërsa largësia ndërmjet dy trupave të jetë e njëjtë si në pjesën II. Pasi t'i kesh caktuar,

këto vlera nuk duhet të ndryshohen gjatë matjeve të mëtejshme.

2. Ndrysho ngarkesën e trupit të dytë pesë herë dhe plotëso tabelën.

3. Vizato grafikun në të cilin do të paraqesësh se si varet forca e Kulonit nga madhësia e ngarkesës së dytë.

Në fund, shkruaj varshmërinë e forcës së Kulonit nga madhësia e të dy ngarkesave dhe nga largësia ndërmjet tyre.

N	q_2 (C)	F (N)
1		
2		
3		
4		
5		



MËSO MË SHUMË

Kur dy ngarkesa elektrike ndodhen në vakum, ndërmjet tyre vepron forca e Kulonit e cila përcaktohet me anë të barazimit të dhënë më sipër në tekst. Por nëse ngarkesat vendosen në një mjedis material (p.sh. ajër, vaj, ujë, plastikë), forca e Kulonit zvogëlohet. Ky zvogëlim përshkruhet me anë të konstantës dielektrike relative ϵ_r e cila tregon sa herë mjedisi e dobëson forcën e Kulonit që vepron ndërmjet dy ngarkesave pikësore, krahasuar me rastin kur ngarkesat bashkëveprojnë në vakum. Atëherë, ligji i Kulonit në një mjedis homogjen dhe izotrop shkruhet:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2},$$

ku vlen se $F_{\text{середина}} = \frac{F_{\text{вакуум}}}{\epsilon_r}$. Konstanta dielektrike relative në vakum është 1, ndërsa në mjediset tjera është më e madhe se 1. Vlerat e ϵ_r janë: për ajrin 1,0006, për alkoolin 25, ndërsa për ujin $\epsilon_r = 80$. Meqenëse konstanta dielektrike relative për ajrin është përafërsisht e barabartë me atë të vakumit, mund të konsiderojmë se forca e Kulonit në ajër është e barabartë për nga madhësia me forcën e Kulonit në vakum.



PYETJE DHE DETYRA

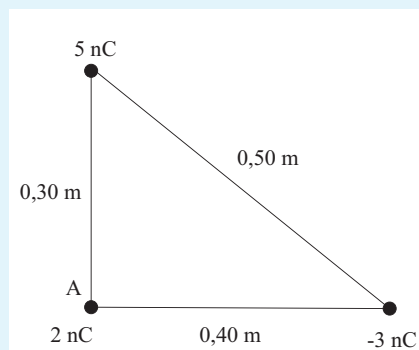
1. Dy ngarkesa pikësore të elektrizuara pozitivisht shtyhen me forcë prej 0,8 N. Sa do të jetë forca nëse sasia e elektricitetit e secilës ngarkesë rritet dy herë? (Zgjidhja: 3.2 N)
2. Dy ngarkesa pikësore negative, të barabarta për nga madhësia, ndodhen në largësi 48 cm në vakum dhe bashkëveprojnë me forcë 10^{-3} N. Sa ngarkesa elektrike elementare përmban secila prej ngarkesave? (Zgjidhja: $1 \cdot 10^{12}$)

3. Dy ngarkesa me madhësi 10^{-6} C dhe $-2 \cdot 10^{-6}$ C ndodhen në vakum në largësi 0,2 m. Mes tyre vendoset një ngarkesë pikësore $5 \cdot 10^{-8}$ C. Përcakto forcën rezultante që vepron mbi ngarkesën. (Zgjidhja: $F = 0,135$ N)

4. Dy sfera të njëjta me ngarkesa 10 nC dhe -4 nC i prekim dhe më pas i kthejmë në të njëjtën largësi ku ndodheshin para prekjës. Sa herë do të ndryshojë forca e Kulonit që vepron ndërmjet sferave para dhe pas prekjës së tyre?

Zgjidhja: $\frac{F_2}{F_1} = 0,225$

Në kulmet e një trekëndëshi kënddrejtë janë vendosur tri ngarkesa pikësore të ndryshme. Llogarit forcën e Kulonit që vepron mbi ngarkesën në kulmin A. (Zgjidhja: $1,06 \cdot 10^{-6}$ N)



1.3. Fusha elektrike

Si mund të përcaktojmë nëse mbi një ngarkesë elektrike, të vendosur në një pikë të caktuar të hapësirës, vepron një forcë tërheqëse apo shtytëse? Me fjalë të tjera, si realizohet bashkëveprimi ndërmjet ngarkesave elektrike që ndodhen në një largësi të caktuar nga njëra-tjetra? Për t'iu përgjigjur këtyre pyetjeve, mund të përdorim analogjinë me fushën gravitacionale të Tokës. Dëshmi indirekte për ekzistencën e fushës gravitacionale është rënia e lirë e trupave: çdo trup që ndodhet në hapësirën ku ekziston fusha gravitacionale e Tokës lëviz drejt saj nën veprimin e forcës gravitacionale. Duke u bazuar në këtë analogji, mund të përfundojmë se edhe rreth një ngarkese elektrike krijohet një fushë përmes së cilës ajo tërheq ose shtyn ngarkesa të tjera elektrike. Ekzistenca e fushës elektrike nuk mund të vërehet drejtpërdrejt me shqisat 1 tona, por për të mësojmë në mënyrë indirekte nëpërmjet veprimit që fusha ushtron mbi një ngarkesë tjetër elektrike. Ashtu si masa e një trupi është shkak për krijimin e fushës gravitacionale, edhe ngarkesa elektrike është shkak për krijimin e fushës elektrike. Prandaj themi se rreth çdo trupi të elektrizuar ekziston fushë elektrike përmes së cilës ngarkesat elektrike bashkëveprojnë.

Rreth çdo trupi të elektrizuar ekziston një fushë elektrike, e cila vepron me forcë mbi ngarkesat e tjera elektrike të vendosura në të. Falë fushës elektrike, trupat mund të bashkëveprojnë edhe pa qenë në kontakt të drejtpërdrejtë, pra bashkëveprimi elektrik është një bashkëveprim pa kontakt.

Intensiteti i fushës elektrike

Për të studiuar më thjeshtë fushën elektrike në një pikë të caktuar të hapësirës është e nevojshme të përkufizojmë nocionin e ngarkesës provuese (q_p). Ajo është një ngarkesë pikësore, shenja e së cilës sipas marrëveshjes merret pozitive ndërsa sasia e saj e elektricitetit është shumë e vogël. Ajo duhet të jetë mjaft e vogël që me fushën e saj, të mos e ndryshojë fushën elektrike që po shqyrtojmë. Nëse mbi ngarkesën provuese vepron një forcë elektrike atëherë në atë pikë ekziston fushë elektrike, ndërsa nëse nuk vepron asnjë forcë, fusha është zero. Madhësia e forcës që vepron mbi ngarkesën provuese tregon sa e madhe është intensiteti i fushës elektrike. Sa më e madhe të jetë forca, aq më i madh është intensiteti i fushës elektrike.

Madhësia fizike që numerikisht është e barabartë me forcën me të cilën fusha vepron mbi ngarkesën provuese të vendosur në atë pikë quhet intensiteti i fushës elektrike. Në përputhje me mënyrën se si e përkufizojmë, intensiteti i fushës elektrike jepet me formulën.

$$E = \frac{F}{q_p}$$

1 Disa kafshë mund ta regjistrojnë fushën elektrike. Të tilla janë, për shembull: peshkaqenët, ngjala elektrike dhe platipusi.

Nga formula e dhënë më sipër rrjedh se njësia matëse për intensitetin e fushës elektrike është **një njuton për kulon (1 N/C)**.

Meqenëse forca është madhësi vektoriale, mund të përfundojmë se edhe intensiteti i fushës elektrike është madhësi vektoriale. Ekuacionin për intensitetin e fushës elektrike mund ta shkruajmë edhe në formë vektoriale, në mënyrën e mëposhtme:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_p}.$$

Nga ekuacioni mund të vërehet se drejtimi dhe kahja e fushës elektrike në një pikë të caktuar janë të njëjtë me drejtimin dhe kahjen e forcës me të cilën fusha vepron mbi një ngarkesë provuese. Meqenëse fushën e përcaktojmë nëpërmjet forcës që një ngarkesë e palëvizshme ushtron mbi ngarkesën provuese, mund të themi se intensiteti i saj është një madhësi karakteristike, e përcaktuar nga kjo forcë.

Në mësimin e mëparshëm, bashkëveprimin elektrik midis ngarkesave pikësore e përshkruam përmes forcës me të cilën ato bashkëveprojnë (forca e Kulonit). Për bashkëveprimin midis ngarkesës q e cila e krijon fushën dhe ngarkesës provuese q_p me të cilën e shqyrtojmë fushën, Ligji i Kulonit do të jetë:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q_p}{r^2} \vec{r}_0,$$

ku r është largësia ndërmjet ngarkesave. Nëse shprehjen për forcën e Kulonit e zëvendësojmë në formulën e mëparshme për intensitetin e fushës elektrike, fitohet:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{r}_0.$$

Nga ekuacioni i fundit mund të vërehet se në një pikë të caktuar, një ngarkesë pozitive krijon fushë elektrike që ka të njëjtin drejtim dhe kahje me vektorin njësi $\vec{r}_0$, ndërsa një ngarkesë negative krijon fushë elektrike që ka të njëjtin drejtim me $\vec{r}_0$, por me kahje të kundërt. Në figurën 1 janë paraqitur kahjet e fushës që krijon ngarkesa q në pikën A, në rastin kur ngarkesa është pozitive dhe kur është negative.

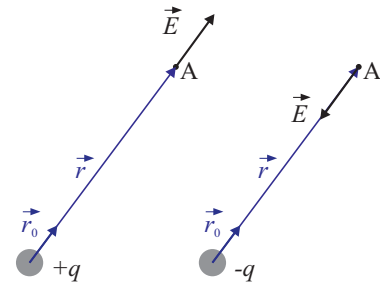


Figura 1. Fusha elektrike në pikën A e krijuar nga një ngarkesë pozitive dhe nga një ngarkesë negative



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Ngarkesa pikësore me sasi elektriciteti 8 nC krijon fushë elektrike. Përcakto largësinë deri te pika në të cilën intensiteti i fushës elektrike është 12 N/C.

Të dhënat: $q = 8 \text{ nC} = 8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ $E = 12 \text{ N/C}$	Zgjidhje: Nga formula për intensitetin e fushës elektrike të një ngarkese pikësore, $E = k \frac{q}{r^2}$, për largësinë nga ngarkesa deri te pika fitohet $r = \sqrt{k \frac{q}{E}} = 2,4 \text{ m}$.
Kërkohet: $r - ?$	

Vijat e forcës elektrike

Fusha elektrike mund të paraqitet grafikisht me anë të vijave të forcës elektrike. Vijat e forcës elektrike tregojnë drejtimin dhe kahjen e lëvizjes së një grimce të elektrizuar pozitivisht në fushë. Dendësia e vijave të forcës është masë e intensitetit të fushës. Sa më i madh të jetë numri i vijave të forcës elektrike që përshkojnë një sipërfaqe të caktuar në hapësirë, aq më i madh është intensiteti i fushës elektrike. Një ngarkesë pikësore krijon një **fushë radiale**. Kjo është një fushë në të cilën, në të gjitha pikat që ndodhen në të njëjtën largësi nga ngarkesa, intensiteti i fushës ka të njëjtin vlerë dhe është i kahëzuar përgjatë rrezes së rrethit që kalon nëpër atë pikë. Fusha radiale është një fushë jo homogjene. Sa më shumë të largohemi nga ngarkesa, aq më i vogël bëhet intensiteti i saj.

Në çdo pikë të vijës së forcës elektrike, e cila në rast të përgjithshëm mund të jetë edhe vijë e lakuar, siç do të shohim te fushat e krijuara nga disa ngarkesa, vektori i intensitetit të fushës elektrike në atë pikë ka drejtimin e njëjtë me tangjenten e vijës së forcës elektrike të tërhequr në atë pikë, figura 2.

Idenë për futjen e konceptit të vijave të forcës elektrike e dha Majkëll Faradej. Ai supozoi në mënyrë intuitive se bashkëveprimi ndërmjet ngarkesave realizohet përmes fushës elektrike. Duhet të kemi parasysh se në realitet nuk ekzistojnë vija të forcës elektrike. Ato janë vetëm një model i përshtatshëm për paraqitjen e fushës elektrike.

Në përputhje me analizën e ekuacionit vektorial të mësipërm, për drejtimin dhe kahjen e fushës elektrike në një pikë të hapësirës, mund të përfundojmë se kahja e vijave të forcës elektrike është e tillë që ato dalin nga ngarkesa pozitive dhe hyjnë në ngarkesën negative (figura 3).

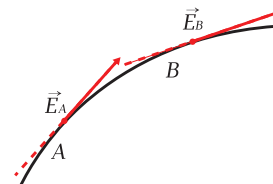


Figura 2. Vija e forcës elektrike dhe vektori i intensitetit të fushës

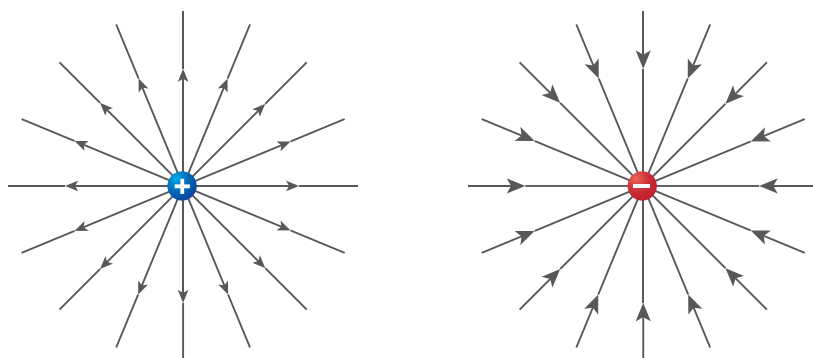


Figura 3. Vijat e forcës elektrike të një ngarkese të izoluar pozitive dhe negative

Vijat e forcës elektrike **nuk priten në asnjë pikë**, sepse në një pikë nuk mund të ketë dy drejtime të ndryshme të fushës elektrike

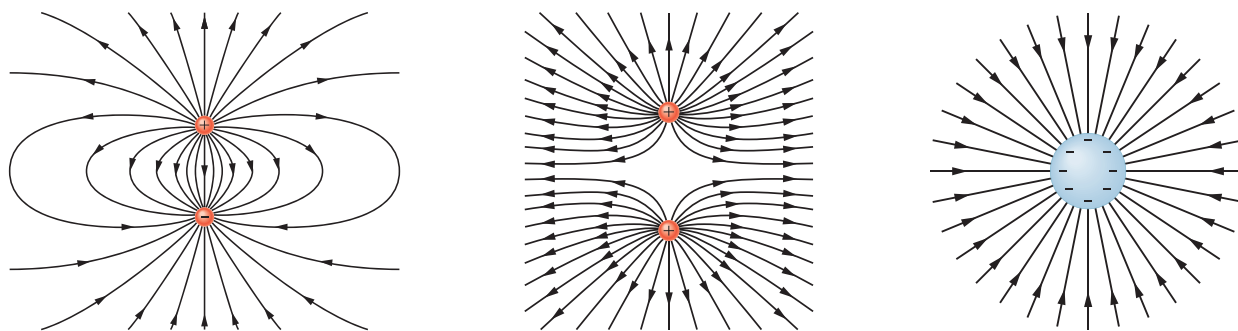


Figura 4. Vijat e forcës elektrike të krijuara nga dy ngarkesa dhe nga një sferë e elektrizuar.

Vijat e forcës elektrike nuk priten askund në hapësirë

Fusha elektrike e krijuar nga disa ngarkesa

Nëse fusha elektrike në një pikë të hapësirës është krijuar nga dy (ose nga më shumë) ngarkesa, atëherë vektori i intensitetit të fushës elektrike në një pikë të caktuar përcaktohet si shumë vektoriale e fushave të veçanta që secila ngarkesë krijon në atë pikë:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n,$$

$\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ e $\vec{E}_n$ janë intensitetet e fushave të krijuara nga secila ngarkesë veçmas. Në figurën 5 është dhënë vektori i fushës elektrike të krijuar nga tri ngarkesa të vendosura në kulmet e një drejtkëndëshi.

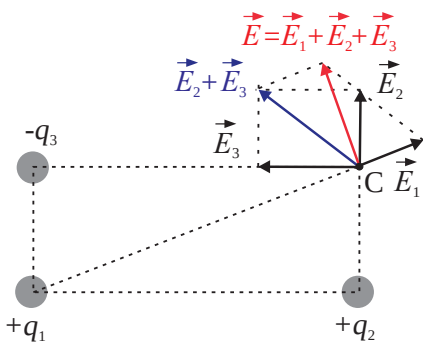


Figura 5. Shuma vektoriale e fushave elektrike të krijuara nga tri ngarkesa.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

ërcakto intensitetin e fushës elektrike të krijuar në pikën C, nëse brinjët e drejtkëndëshit të paraqitur në figurën 5 janë $a = 10 \text{ cm}$, $b = 5 \text{ cm}$, ndërsa madhësitë e ngarkesave janë $q_1 = 5 \text{ pC}$, $q_2 = 5 \text{ pC}$ dhe $q_3 = 10 \text{ pC}$.

Të dhëna:

$$q_1 = 5 \text{ pC} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ C}, \quad q_2 = 5 \text{ pC} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ C},$$

$$q_3 = 10 \text{ pC} = 10 \cdot 10^{-12} \text{ C}, \quad a = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m},$$

$$b = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

Kërkohet:

$$E - ?$$

Zgjidhje:

Fushat elektrike janë paraqitur në figurën më poshtë.

Për të llogaritur madhësinë në pikën C, vendosim sistemin koordinativ të paraqitur në figurën 3. Në këtë rast, nga ekuacioni vektorial:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$$

përfitojmë dy ekuacione skalare kur fushat elektrike i projektojmë në secilin prej boshteve:

$$E_x = E_3 - E_{1x} \text{ dhe } E_y = E_2 + E_{1y}$$

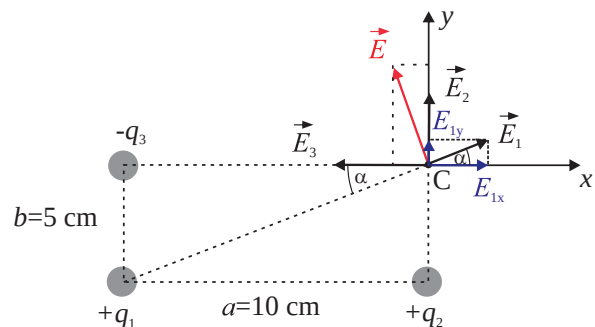
Ku $E_{1x} = E_1 \cos \alpha$ dhe $E_{1y} = E_1 \sin \alpha$ janë projeksionet e fushës E_1 në boshtet x dhe y .

Këndi α përcaktohet lehtë me ndihmën e brinjëve të trekëndëshit: $\tan \alpha = \frac{b}{a} \Rightarrow \alpha = 26,6^\circ$, ndërsa diagonalen e drejtkëndëshit do ta llogarisim duke përdorur teoremën e Pitagorës, përkatësisht

$d = \sqrt{a^2 + b^2} = 0,11 \text{ m}$. Tani, pasi i kemi fushat elektrike në secilin prej boshteve, duke përdorur

teoremën e Pitagorës për fushën rezultante, fitojmë:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 20,4 \text{ N/C}$$



Fusha elektrike homogjene

Për një pjesë të hapësirës, ku në çdo pikë vektori i intensitetit të fushës elektrike ka të njëjtin drejtim, kahje dhe madhësi, themi se fusha elektrike është homogjene. Në çdo pikë të një fushe homogjene, mbi ngarkesën provuese vepron forcë e njëjtë. Fusha homogjene krijohet ndërmjet dy pllakave metalike paralele, ku njëra prej tyre është e elektrizuar pozitivisht ndërsa tjetra negativisht. Vijat e forcës elektrike të një fushe elektrike homogjene janë paralele dhe ndodhen në largësi të barabartë nga njëra-tjetra (figura 6).

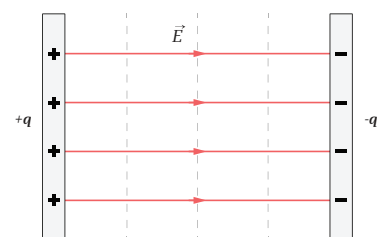


Figura 6. Fushë elektrike homogjene në hapësirën ndërmjet dy pllakave metalike të elektrizuara

Në figurën 7 është paraqitur shpërndarja e vijave të forcës elektrike të dipoli elektrik. Ai është një sistem i përbërë nga dy ngarkesa elektrike me shenja të kundërta dhe me të njëjtën sasi elektriciteti, të vendosura në një largësi të caktuar nga njëra-tjetra. Në një pjesë të hapësirës ndërmjet ngarkesave fusha është homogjene.

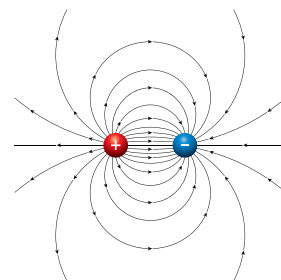


Figura 7. Fusha elektrike e një dipoli elektrik

Përçuesit në fushën elektrike

Në përçues ka elektrone të lira të cilat mund të lëvizin brenda përçuesit. Nëse përçuesi vendoset në një fushë elektrike, këto ngarkesa të lira rishpërndahen (elektronet lëvizin në kahjen e kundërt me vijat e forcës elektrike derisa të vendoset ekuilibri elektrostatik). Atëherë fusha elektrike brenda përçuesit është zero ($E=0$), përkatësisht shumica e fushës së jashtme dhe e fushës së krijuar brenda përçuesit është e barabartë me:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_{sp} = 0 \Rightarrow |\vec{E}_0| = |\vec{E}_{sp}|$$

Kjo veti është bazë për mbrojtje elektrostike, përkatësisht për krijimin e kafazit të Faradeit. Ai paraqet një konstruksion të mbyllur ose pjesërisht të mbyllur prej përçuesi metalik (rrjetë ose pllaka) dhe mbron pjesën e brendshme nga ndikimet e jashtme elektrike. Karrociera metalike e automjeteve është një kafaz i Faradeit. Në rast të goditjes së automjetit nga rrufeja, pasagjerët janë plotësisht të mbrojtur brenda tij.

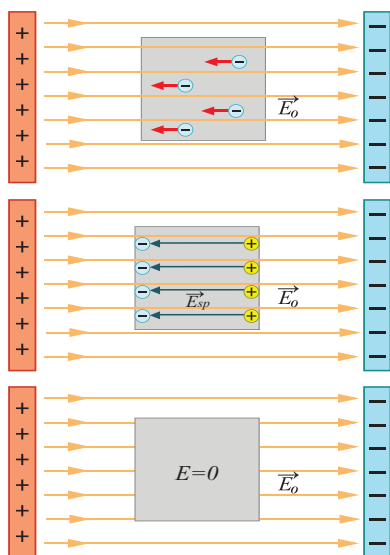


Figura 8. Përçuesi në fushë elektrike homogjene



AKTIVITETI 1.

Afro një trup të elektrizuar pozitivisht pranë një topthi të vogël metalik të varur në një fije prej izolatori. Vëzhgo nëse fija do të devijojë nga pozita e ekuilibrit. Tani, trupin e varur në fije vendose brenda një rrjete metalike (kafazi i Faradeit) dhe përsëri afro një trup të elektrizuar pozitivisht. A devijon topthi nga pozita e ekuilibrit? Diskutoni në klasë dhe nxirrni një përfundim.

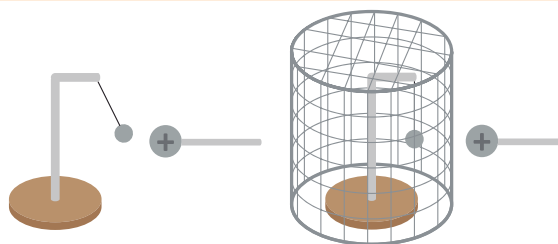


Figura 9. Veprimi mbrojtës i kafazit të Faradeit

Fusha elektrike në izolatorë

Kur izolatorët (dielektrikët) vendosen në një fushë elektrike (me intensitet E_0), molekulat e tyre polarizohen: pjesët pozitive dhe negative të molekulave zhvendosen pak, kështu që në brendësi të materialit shfaqet një fushë shtesë (E_v) e cila e dobëson fushën elektrike të jashtme në krahasim me intensitetin e saj në vakum, siç paraqitet në figurën 10.

Për intensitetin e fushës në dielektrik kemi:

$$E = E_0 - E_v.$$

Ky zvogëlim përshkruhet me konstanten dielektrike relative ϵ_r , e cila përcaktohet si raporti ndërmjet fushës elektrike në vakum (E_0) dhe fushës elektrike në izolator (E):

$$\epsilon_r = \frac{E_0}{E}.$$

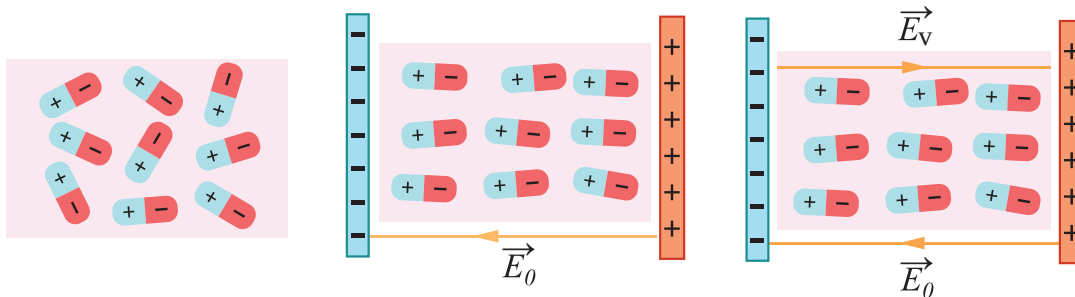


figura 10. Fusha elektrike në dielektrik

Meqenëse në izolator fusha është e dobësuar, vlen $\epsilon_r > 1$. Sa më e madhe të jetë konstanta dielektrike relative e materialit, aq më i madh është dobësimi i fushës elektrike në të në krahasim me vakumin. Duke pasur parasysh relacionin e fundit për intensitetin e fushës elektrike të krijuar nga një ngarkesë pikësore e vendosur në një mjedis dielektrik, kemi:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q}{r^2} \vec{r}_0$$



AKTIVITETI 1.

Mund të hulumtosh për fushën elektrike dhe për vijat e forcës së fushës në simulimin PhET Charges and Fields - Electric Field | Electrostatics në lidhjen e mëposhtme: https://phet.colorado.edu/sims/html/charges-and-fields/latest/charges-and-fields_all.html

Përpigu të krijosh një fushë elektrike homogjene. .



Elektrizimi në natyrë

Nëse ndodh një shkarkim elektrik ndërmjet reve dhe tokës, themi se ka rënë rrufeja. Për mbrojtje nga rrufeja përdoret rrufepritësi. Ai është një përçues në formë shufre. Rrufepritësi është i mprehtë në majë dhe vendoset në vendet më të larta të objekteve. Rrufepritësi i vendosur në majë të objektit lidhet me tokën me anë të përçuesve. Në këtë mënyrë ngarkesat përcillen në tokë.

Retë, pikat e vogla të ujit, kristalet e akullit dhe kokrrizat e akullit, për shkak të rrymave të ajrit, lëvizin vazhdimisht dhe përplasen me njëra-tjetrën. Gjatë lëvizjes ndodh fërkimi dhe si pasojë ndarja e ngarkesave elektrike. Kur ato përplasen (gjatë kontaktit), ndodh kalimi i ngarkesave. Këto procese bëjnë që pjesa e poshtme e resë të jetë e ngarkuar negativisht, ndërsa pjesa e sipërme pozitivisht. Retë e elektrizuara, përmes elektrizimit me ndikim, elektrizojnë tokën dhe objektet e larta (pemët, kullat, rrufepritësit). Ngarkesat grumbullohen më së shumti në pjesët e mprehta të objekteve. Ngarkesat negative në pjesën e poshtme të resë shkaktojnë elektrizimin e sipërfaqes së Tokës sipas parimit të induksionit elektrostatisht: ato i shtyjnë elektronet në shtresën sipërfaqësore të tokës poshtë dhe sipërfaqja e Tokës nën re bëhet e elektrizuar pozitivisht. Kur fusha elektrike në re dhe ndërmjet resë dhe tokës bëhet shumë e fortë, ajri fillon të jonizohet dhe krijohet një kanal i ngushtë nëpër të cilin ngarkesat lëvizin më lehtë. Nga reja zbret një tufë grimcash të elektrizuara, me ç'rast ndodh një shkarkim i menjëhershëm elektrik atmosferik, përkatësisht vetëtima. Ajri rreth vetëtimitë nxehet deri në temperaturë shumë të lartë dhe zgjerohet menjëherë, gjë që ne e dëgjojmë si bubullimë.



MËSO MË SHUMË

Fusha elektrike e një sfere të elektrizuar prej përçuesi dhe e një sfere të elektrizuar prej dielektriku.

Te një sferë përçuese e elektrizuar me rreze R , gjatë ekuilibrit elektrostatisht ngarkesa q shpërndahet

vetëm në sipërfaqen e sferës. Brenda sferës intensiteti i fushës elektrike është zero, ndërsa jashtë sferës (në largësi r) mund të llogaritet me ekuacionin:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad r \geq R,$$

që është e njëjtë me fushën e një ngarkese pikësore të vendosur në qendrën e sferës. Vijat e forcës elektrike janë pingule me sipërfaqen e sferës.

Te një sferë e elektrizuar prej dielektriku (izolatori), ngarkesa nuk lëviz lirshëm nëpër sipërfaqe, por mund të jetë e shpërndarë në vëllim. Nëse sfera dielektrike ka ngarkesë të përgjithshme q të shpërndarë në mënyrë të njëtrajtshme në vëllim, atëherë brenda sferës ($r < R$)

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qr}{R^3}$$

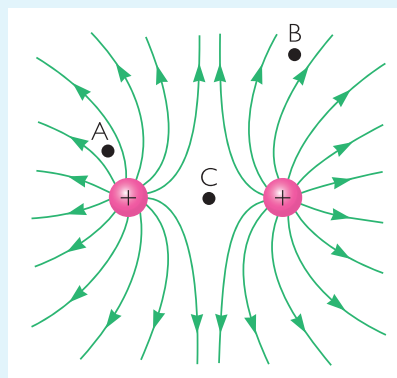
ku fusha rritet në mënyrë lineare me r . Jashtë sferës ($r \geq R$) fusha është e barabartë me fushën që do të krijonte edhe një sferë përçuese e elektrizuar, përkatësisht:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}.$$



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse themi se intensiteti i fushës elektrike është madhësi që karakterizon forcën e fushës?
2. Për cilën fushë elektrike mund të themi se është homogjene?
3. Në cilën nga tri pikat në vizatim intensiteti i fushës elektrike do të jetë më i madh? Shpjego përgjigjen tënde.
4. Dy ngarkesa pikësore, 3 nC dhe 5 nC ndodhen në largësi prej 14 cm nga njëra-tjetra. Sa është intensiteti i fushës elektrike në pikën që ndodhet ndërmjet ngarkesave? Në çfarë largësie nga ngarkesa e parë intensiteti i fushës do të jetë i barabartë me zero? (Zgjidhja: 3,7 kN/C; 8,1 cm)
5. Të llogaritet intensiteti i fushës elektrike dhe potenciali në pikën P të figurës në të djathtë, nëse $q = 10^{-10}$ C, ndërsa $d = 20$ cm. Ngarkesat të konsiderohen si ngarkesa pikësore. Në cilën nga tri pikat e vizatimit intensiteti i fushës elektrike do të jetë më i madh? Shpjego përgjigjen tënde. (Zgjidhja: 303 N/C; 42,8 V)



Ndërmjet dy pllakave metalike të vendosura në pozicion horizontal është krijuar një fushë elektrike homogjene me intensitet $2 \cdot 10^3$ N/C (pllaka e sipërme është e elektrizuar pozitivisht). Në një pikë të fushës ndodhet një top me masë 0,2 g i elektrizuar me ngarkesë pikësore prej $-5 \mu\text{C}$. Me çfarë nxitimi dhe në cilin drejtim do të lëvizë topi nëse lihet i lirë? Shpejtësia fillestare e topit është zero. Hapësira ndërmjet pllakave është vakum.

(Zgjidhja: 50 m/s²)

1.4. Potenciali elektrik dhe tensioni

Energjia potenciale elektrike

Fusha elektrike ka ngjashmëri të madhe me fushën gravitacionale sepse të dyja paraqesin fusha në të cilat veprojnë forca pa kontakt dhe konservative. Fushën gravitacionale e krijojnë trup me masë m ndërsa fushën elektrike e krijojnë trup i elektrizuar me ngarkesë elektrike q . Kur një trup lëviz në një fushë gravitacionale, për shembull bie nga një lartësi e caktuar, energjia e tij e përgjithshme mekanike nuk ndryshon, por ndryshon raporti ndërmjet energjisë kinetike dhe energjisë potenciale. Energjia potenciale zvogëlohet, ndërsa energjia kinetike rritet. Nëse duam ta ngremë trupin lart, në drejtim të kundërt me forcën gravitacionale, duhet të kryejmë punë dhe në këtë mënyrë ta rrisim energjinë e tij potenciale.

Në mënyrë të ngjashme, edhe një trup i elektrizuar në një fushë elektrike lëviz në kahje në të cilën energjia e tij potenciale elektrike zvogëlohet, ndërsa energjia e tij kinetike rritet. Ngarkesa elektrike lëviz nga një pikë ku ka energji potenciale më të madhe drejt një pike ku ka energji potenciale më të vogël.

Të shqyrtojmë një ngarkesë pozitive që krijojnë fushë elektrike dhe një ngarkesë provuese pozitive. Nëse duam ta lëvizim ngarkesën provuese në kahjen e kundërt me fushën, pra ta afrojmë pranë burimit të fushës elektrike, duhet të kryejmë punë. Në këtë rast, energjia e saj potenciale rritet. Nëse e lëmë të lëvizë lirshëm, ajo do të lëvizë në kahjen e fushës dhe do të përshpejtohet; energjia kinetike do të rritet, ndërsa energjia potenciale do të zvogëlohet.

Kur fusha elektrike krijohet nga një grimcë e elektrizuar negativisht, atëherë ngarkesa pozitive provuese do të lëvizë drejt grimcës së elektrizuar negativisht me nxitim, duke zvogëluar energjinë e saj potenciale elektrike. Nëse duam ta largojmë atë, duhet të kryejmë punë, me ç'rast rrisim energjinë e saj potenciale elektrike.

Energjia potenciale elektrike është rezultat i bashkëveprimit ndërmjet dy trupave të elektrizuar, përkatësisht ndërmjet dy ngarkesave. Çdo trup i elektrizuar në fushën elektrike ka energji të caktuar potenciale elektrike E_p .

Puna në fushën elektrike

Le të ndodhet ngarkesa provuese q_p në largësi r_1 nga ngarkesa pikësore q (figura 1). Në veprimin e forcës elektrike, ngarkesa q_p zhvendoset në largësi r_2 nga ngarkesa q .

Gjatë kësaj zhvendosje ndryshon energjia e saj potenciale elektrike.



Figura 1. Ngarkesa provuese q_p në fushën e një ngarkese pozitive q .

Puna që kryen forca elektrike është e barabartë me ndryshimin negativ të energjisë potenciale elektrike të ngarkesës provuese, përkatësisht:

$$A = -\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2} \quad .$$

Meqenëse forca elektrike në fushën e një ngarkese pikësore nuk është konstante, për llogaritjen e punës merret forca mesatare elektrike $\bar{F}$ dhe puna mund të shkruhet si:

$$A = \bar{F}(r_2 - r_1).$$

Nga këtu rrjedh:

$$E_{p1} - E_{p2} = \bar{F}(r_2 - r_1).$$

Forca në pozitën fillestare është

$$F_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_p}{r_1^2}, \text{ ndërsa në pozitën e fundit është:}$$

$$F_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_p}{r_2^2}.$$

Forca mesatare $\bar{F}$ është mesatarja gjeometrike e forcës në pozitën fillestare dhe të forcës në pozitën përfundimtare, sepse forca nuk varet në mënyrë të drejtpërdrejtë proporcionale nga largësia:

$$\bar{F} = \sqrt{F_1 F_2}.$$

Me zëvendësim fitohet:

$$\bar{F} = \sqrt{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_p}{r_1^2} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_p}{r_2^2}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_p}{r_1 r_2}.$$

Nëse kjo formulë zëvendësohet në ekuacionin për ndryshimin e energjisë potenciale, fitohet

$$E_{p1} - E_{p2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq_p}{r_1 r_2} (r_2 - r_1) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{qq_p}{r_1} - \frac{qq_p}{r_2} \right).$$

Anëtarët në anën e djathtë të ekuacionit paraqesin energjinë potenciale elektrike të ngarkesës provuese q_p në pozitën fillestare dhe në pozitën përfundimtare. Nga këtu rrjedh se energjia potenciale elektrike e ngarkesës provuese q_p në largësi r nga ngarkesa pikësore q është:

$$E_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q_p}{r}$$

ku q dhe q_p janë ngarkesat që bashkëveprojnë ndërsa r është largësia ndërmjet tyre.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Në një fushë elektrike homogjene me intensitet $4,0 \cdot 10^4$ V/m ndodhet një ngarkesë prej $3,0 \mu\text{C}$. Fusha është e kahëzuar horizontalisht, ndërsa ngarkesa zhvendoset nga pika A në pikën B. Largësia ndërmjet këtyre dy pikave është $0,25$ m, ndërsa ngarkesa lëviz në kahjen e fushës elektrike.

- Sa punë kryen forca e fushës elektrike gjatë zhvendosjes së ngarkesës nga pika A në pikën B?
- Sa është ndryshimi i energjisë potenciale elektrike të ngarkesës?

Të dhënat:

$$E = 4,0 \cdot 10^4 \text{ V/m}, \\ q = 3,0 \mu\text{C} = 3,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}, \\ d = 0,25 \text{ m}$$

Kërkohet:

$$A - ?, \Delta E_p - ?$$

Zgjidhje:

a) Në një fushë elektrike homogjene, puna është $A = qEd$. Nëse zëvendësohen vlerat numerike, për punën e fushës elektrike fitohet: $A = 3 \cdot 10^{-2} \text{ J}$. Ngarkesa lëviz në kahjen e fushës prandaj puna e forcës elektrike është pozitive.

b) Lidhja ndërmjet punës dhe ndryshimit të energjisë potenciale është $A = -\Delta E_p$, prej nga për ndryshimin e energjisë potenciale të ngarkesës fitohet: $\Delta E_p = -3 \cdot 10^{-2} \text{ J}$. Energjia potenciale e ngarkesës zvogëlohet sepse forca kryen punë pozitive.

Potenciali elektrik

Ngarkesa provuese ka energji potenciale të ndryshme në pika të ndryshme të fushës. Ngarkesa të ndryshme në të njëjtat pika të fushës gjithashtu kanë energji potenciale të ndryshme. Në pikën 1 (figura 1), në vend të ngarkesës provuese me sasi të elektricitetit q_p , të vendosim një ngarkesë me sasi të elektricitetit dy herë më të madhe $2q_p$. Sipas ekuacionit për llogaritjen e energjisë potenciale, energjia potenciale e kësaj ngarkese do të jetë $2q_p$. Ngarkesa me sasi të elektricitetit $3q_p$ do të ketë energji potenciale $3E_p$. Nëse përcaktojmë raportin ndërmjet energjisë potenciale të ngarkesës provuese dhe sasisë së saj të elektricitetit, kemi:

$$\frac{E_p}{q_p} = \frac{2E_p}{2q_p} = \frac{3E_p}{3q_p} = \text{const.}$$

Ky raport është madhësi konstante për fushën në pikën 1 dhe nuk varet nga sasia e elektricitetit të ngarkesës provuese. Kjo madhësi është karakteristikë e rëndësishme e fushës elektrike dhe quhet potencial elektrik ndërsa shënohet me simbolin φ (lexohet “fi”). Konceptin e potencialit elektrik e përdorim për të paraqitur veprimin e fushës elektrike në një pikë të caktuar, pavarësisht nga madhësia e ngarkesës që ndodhet në atë pikë. Potenciali është energjia potenciale që i përket një njësie ngarkese elektrike, domethënë paraqet energjinë potenciale të një ngarkese elektrike njësi, të vendosur në atë pikë, ose i shprehur me formulë:

$$\varphi = \frac{E_p}{q_p}$$

ku:

- φ është potenciali elektrik (i matur në volt, V),
- E_p është energjia potenciale elektrike (në xhul, J),
- q është ngarkesa elektrike (në kulon, C).

Për një ngarkesë pikësore, potenciali llogaritet sipas formulës:

$$\varphi = k \frac{q}{r}.$$

Mund të vërehet se **energjia potenciale varet nga madhësia e ngarkesës së vendosur**, ndërsa **potenciali elektrik varet vetëm nga pozita e ngarkesës në fushë**. Pra, potenciali është veti e **fushës elektrike** dhe jo e grimcës së elektrizuar që lëviz në të.

Njësia themelore për potencialin elektrik në SI është një **volt, 1V**. Nga formula për potencialin elektrik rrjedh:

$$1\text{V} = \frac{1\text{J}}{1\text{C}}.$$

Potenciali është madhësi skalare dhe vlera e tij numerike mund të jetë pozitive ose negative, në varësi të shenjës së ngarkesës që krijon fushën dhe nga zgjedhja e nivelit referues të potencialit. Në elektrostatikë konsiderohet se një ngarkesë ka energji potenciale elektrike zero (dhe rrjedhimisht edhe potencial zero) në largësi pafundësisht të madhe nga ngarkesa që krijon fushën.

Potenciali elektrik në një pikë të caktuar mund të jetë rezultat i potencialeve të krijuara nga më shumë ngarkesa. Në këtë rast, kontributi i secilës ngarkesë në potencialin elektrik në një pikë të caktuar mund të përcaktohet në mënyrë të pavarur, ndërsa potenciali i përgjithshëm elektrik në atë pikë është shuma algjebrike e potencialeve të krijuara nga secila ngarkesë veç e veç:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n.$$



POTENCIALI ELEKTRIK 2.

Në rrafsh ndodhen dy ngarkesa pikësore: $+6 \text{ pC}$ dhe -3 pC . Pika R ndodhet në largësi prej 30 cm nga ngarkesa e parë dhe 20 cm nga ngarkesa e dytë. Përcakto potencialin e përgjithshëm në pikën R.

Të dhënat:

$$q_1 = 6 \text{ pC} = 6 \cdot 10^{-12} \text{ C}, q_2 = -3 \text{ pC} = -3 \cdot 10^{-12} \text{ C}, r_1 = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}, r_2 = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

Kërkohet:

$$\varphi - ?$$

Zgjidhje:

$$\varphi_1 = k \frac{q_1}{r_1}, \varphi_2 = k \frac{q_2}{r_2}, \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = 0,18 \text{ V} + (-0,135) \text{ V} = 0,045 \text{ V}.$$

Tensioni elektrik

Kur ngarkesa provuese lëviz në fushën elektrike, kemi thënë se puna e kryer nga forca elektrike është e barabartë me ndryshimin e energjisë potenciale, përkatësisht vlen ekuacioni:

$$A = E_{p1} - E_{p2}.$$

Ose, duke pasur parasysh ekuacionin me të cilin llogaritet potenciali i krijuar nga një ngarkesë pikësore, mund të shkruajmë:

$$A = q_p (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Shprehja $\varphi_1 - \varphi_2$ paraqet ndryshimin e potencialit ndërmjet dy pikave në fushë, në këtë rast ndërmjet pikave 1 dhe 2, dhe quhet tension elektrik, $U = \varphi_1 - \varphi_2$. Madhësinë fizike tension e shënojmë me U , ndërsa njësia themelore e matjes është e njëjtë si për potencialin, një volt 1 V . Nga ekuacioni i mësipërm mund ta shprehim tensionin nëpërmjet punës së forcës elektrike:

$$U = \frac{A}{q_p}.$$

Tensioni ndërmjet dy pikave në fushë është i barabartë me punën që kryen forca elektrostatike gjatë zhvendosjes së një ngarkese provuese pozitive me vlerë njësi nga njëra pikë në tjetrën.

Tensioni (ose ndryshimi i potencialit) ndërmjet dy pikave matet me një instrument për matjen e tensionit, i quajtur voltmetër. Në figurën 2 janë paraqitur një voltmetër analog dhe një multimetër digjital (instrument me të cilin mund të maten më shumë madhësi fizike elektrike, ndër të cilat edhe tensioni).

a)



b)



Figura 2. a) Voltmetër analog

b) Multimetër digjital

Nga ekuacioni $A = qU$ rrjedh se puna që kryen fusha elektrike gjatë zhvendosjes së një ngarkese elektrike varet nga tensioni ndërmjet dy pikave dhe nga sasia e elektricitetit të ngarkesës. Nëse shqyrtojmë rastin kur ngarkesa është ngarkesë elektrike elementare, elektroni, atëherë energjia që merr ose humb elektroni gjatë lëvizjes ndërmjet dy pikave me ndryshim të caktuar potenciali mund të shprehet me një njësi të veçantë të energjisë, të quajtur **elektronvolt**.

Elektronvolt (eV) paraqet punën që kryen fusha elektrike kur një ngarkesë elektrike elementare ($e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) zhvendoset ndërmjet dy pikave ku ndryshimi i potencialit është 1 V përkatësisht:

$$A = eU = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 1 \text{ V} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1 \text{ eV} \cdot$$

Elektronvolt është njësi për energji dhe nuk bën pjesë në Sistemin Ndërkombëtar të Njësive (SI), por është veçanërisht e përshtatshme për shprehjen e energjive shumë të vogla. Për këtë arsye, ai përdoret shpesh për përshkrimin e energjive në fizikën atomike dhe bërthamore.

Sipërfaqet ekuipotenciale

Fusha elektrike në pika të ndryshme të hapësirës ka vlera të ndryshme të potencialit elektrik. Megjithatë, ekzistojnë sipërfaqe ku të gjitha pikat kanë të **njëjtin potencial**. Këto sipërfaqe quhen **sipërfaqe ekuipotenciale**. Një sipërfaqe ekuipotenciale paraqet vendin gjeometrik të pikave në hapësirë, në të cilat potenciali ka të njëjtën vlerë. Pra, nëse ngarkesa provuese lëviz përgjatë një sipërfaqeje ekuipotenciale, energjia e saj potenciale **nuk ndryshon** $\Delta E_p = 0$, sepse potenciali mbetet i pandryshuar. Prandaj, gjatë lëvizjes përgjatë një sipërfaqeje ekuipotenciale, **nuk kryhet punë** $A = q(\varphi_1 - \varphi_1) = 0$. Kjo është një nga karakteristikat më të rëndësishme të sipërfaqeje ekuipotenciale.

Sipërfaqet ekuipotenciale janë gjithmonë normale ndaj vijave të forcës elektrike. Arsyeja është se vijat e forcës tregojnë drejtimin në të cilin fusha elektrike mund të kryejë punë mbi ngarkesën dhe të ndryshojë energjinë e saj potenciale. Meqenëse gjatë lëvizjes përgjatë një sipërfaqeje ekuipotenciale potenciali nuk ndryshon, fusha nuk kryen punë. Prandaj, lëvizja përgjatë sipërfaqes ekuipotenciale duhet të jetë nën kënd të drejtë ndaj drejtimit të vijës së forcës elektrike. Meqenëse sipërfaqja e një përçuesi metalik paraqet një sipërfaqe ekuipotenciale, vijat e forcës elektrike që dalin nga ajo ose hyjnë në të janë gjithmonë normale ndaj sipërfaqes së përçuesit.

Në një **fushë elektrike homogjene**, sipërfaqet ekuipotenciale janë **rrafshet paralele** të vendosura normal ndaj vijave të forcës. Në fushën elektrike të një **ngarkese pikësore**, sipërfaqet ekuipotenciale janë **sfera koncentrike** rreth ngarkesës (figura 3).



Figura 3. Sipërfaqet ekuipotenciale të paraqitura me vija të ndërprera në a) fushë elektrike homogjene; b) fushë e krijuar nga një ngarkesë pikësore; c) fushë e krijuar nga një dipol elektrik



AKTIVITETI 1.

Sipërfaqja e përçuesve metalikë është një sipërfaqe ekuipotenciale. Kjo mund të vërtetohet në mënyrë eksperimentale me ndihmën e elektrometrit. Koka e elektrometrit është e lidhur me një sondë provuese të lëvizshme ndërsa elektroda tjetër është e tokëzuar. Përçuesi metalik vendoset mbi një izolator dhe elektrizohet. Pastaj, me anë të sondës provuese preken pika të ndryshme të sipërfaqes së tij. Vërehet se devijimi i elektrometrit mbetet i njëjtë gjatë prekjes së cilësdo pikë të sipërfaqes së përçuesit metalik, gjë që vërteton se potenciali është i njëjtë në të gjithë sipërfaqen. Prandaj, sipërfaqja e metalit është një sipërfaqe ekuipotenciale. Kjo vlen për përçuesit metalikë në ekuilibër elektrostatisht, domethënë kur nëpër ta nuk rrjedh rrymë.

Në figurën 4 është paraqitur një fushë elektrike homogjene ndërmjet dy pllakave përçuese të elektrizuara. Me vija të ndërprera janë paraqitur sipërfaqet ekuipotenciale. Ato janë rrafshe paralele të vendosura normal ndaj vijave të forcës elektrike. Fusha elektrike në çdo pikë ndërmjet pllakave ka të njëjtin intensitet dhe mund të përcaktohet me formulën:

$$E = \frac{U}{d},$$

ku U është tensioni ndërmjet pllakave ku është krijuar fusha ndërsa d është largësia ndërmjet tyre. Nga kjo formulë rrjedh se intensiteti i fushës elektrike mund të shprehet edhe me njësinë volt për metër (V/m).

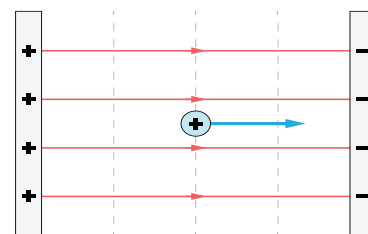


Figura 4. Fushë elektrike homogjene ndërmjet dy pllakave paralele përçuese dhe sipërfaqet ekuipotenciale në të



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Në një fushë elektrike homogjene, siç është paraqitur në figurën 4, largësia ndërmjet dy pllakave të elektrizuara është 5 cm. Tensioni ndërmjet tyre është 150 V. Sa është intensiteti i fushës elektrike ndërmjet pllakave? Sa punë do të kryejë forca e fushës për të zhvendosur një ngarkesë prej $2 \mu\text{C}$ nga pllaka pozitive në pllakën negative?

Të dhënat: $d = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$, $U = 150 \text{ V}$, $q = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$	Zgjidhje: Për fushën elektrike homogjene vlen relacioni $E = \frac{U}{d}$. Nëse i zëvendësojmë vlerat numerike, për intensitetin e fushës fitohet: $E = 3000 \text{ V/m}$. Punën në fushën elektrike do ta llogarisim me formulën $A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) = q \cdot U$. Me zëvendësimin e vlerave numerike për punën, fitohet $A = 3 \cdot 10^{-4} \text{ J}$.
Kërkohet: $E = ?$, $A = ?$	

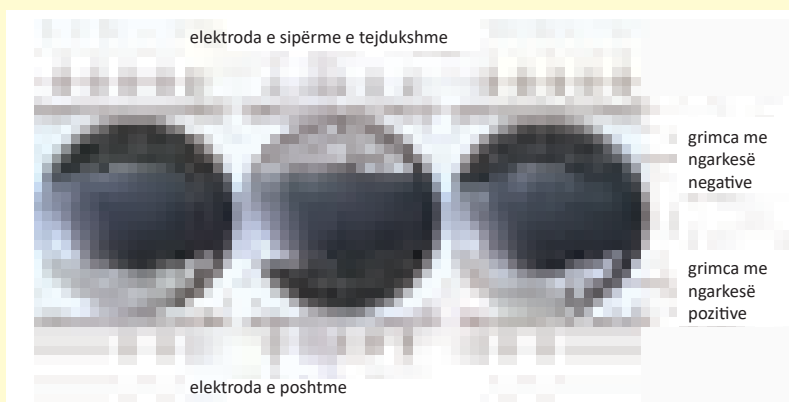


ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Lexuesit elektronikë, siç është “Kindle”, përdorin të ashtuquajturën teknologji e-ink (bojë elektronike), e cila imiton letërën dhe funksionon falë potencialit elektrik. Sipërfaqja e ekranit përbëhet nga miliona mikrokapsula të mbushura me një lëng transparent, në të cilin “notojnë” grimca të bardha me ngarkesë pozitive dhe grimca të zeza me ngarkesë negative. Diferenca e potencialit elektrik krijon një fushë elektrostatiske, e cila i rendit grimcat sipas ngarkesës së tyre: grimcat e bardha me ngarkesë pozitive tërhiqen nga elektrodën negative ndërsa grimcat e zeza me ngarkesë negative tërhiqen nga elektrodën pozitive.

Kështu, nëse grimcat e bardha ngrihen drejt pjesës së sipërme të mikrokapsulës, pikseli duket i bardhë; ndërsa nëse lart ngrihen grimcat e zeza, pikseli duket i zi. Duke kontrolluar matricën e elektrodave, nën secilën mikrokapsulë, pajisja formon tekstin dhe imazhet në ekran, ndërsa shpërndarja e pjesshme e grimcave mundëson krijimin e nuancave të ndryshme të ngjyrës gri.

Një nga përparësitë më të mëdha të teknologjisë e-ink është se ajo nuk shpenzon energji për ta ruajtur imazhin në ekran. Pasi grimcat të



vendosen në pozicionin që krijon pamjen e dëshiruar, nuk nevojitet më energji elektrike shtesë që ato të qëndrojnë aty. Bateria shpenzohet vetëm gjatë ndërrimit të faqeve, kur ekrani duhet t'i rishpërndajë grimcat. Kjo shpjegon pse ekrani ndonjëherë "pulson" gjatë ndërrimit të faqes: pajisja kryen një fshirje të shkurtër, por të plotë, për t'i rikthyer grimcat në gjendjen fillestare neutrale dhe për të shmangur gjurmët e tekstit të mëparshëm.

Meqenëse ekrani e-ink nuk lëshon dritë, por e pasqyron dritën e ambientit njësoj si letra, ai lexohet jashtëzakonisht mirë nën rrezet e forta të diellit dhe nuk i lodh sytë. Duke shfrytëzuar forcat elektrostatike, kjo pajisje është një nga shembujt e zbatimit të potencialit elektrik në teknologjinë e përditshme.



MËSO MË SHUMË

Potenciali që krijon një sferë metalike me rreze R , e ngarkuar me ngarkesë elektrike q të shpërndarë në mënyrë të njëtrajtshme në sipërfaqen e saj, jashtë sferës llogaritet me ekuacionin:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \quad \text{za } r \geq R .$$

Kjo do të thotë se potenciali elektrik jashtë sferës është i njëjtë me potencialin që do të krijonte një ngarkesë pikësore e vendosur në qendër të sferës. Në vetë sipërfaqen e sferës, potenciali është:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} ,$$

ndërsa në hapësirën brenda sferës, potenciali është i njëjtë në çdo pikë, pra:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} \quad \text{za } r \leq R .$$



PYETJE DHE DETYRA

1. Çfarë është energjia potenciale elektrike dhe cila është arsyeja e ekzistencës së kësaj energjie?
2. Si përkufizohet potenciali elektrik dhe pse konsiderohet veti e fushës elektrike?
3. Çfarë paraqet tensioni elektrik dhe si lidhet ai me potencialet në dy pika të fushës?
4. Sa është potenciali në largësi 2 nm nga bërthama e atomit të heliumit e cila përmban dy protone? Sa është energjia potenciale e elektronit që ndodhet në këtë largësi nga bërthama? (Zgjidhja: 1,44 V; $-2,3 \cdot 10^{-19}$ J)
5. Katër ngarkesa të barabarta pikësore pozitive, secila me ngarkesë elektrike 2 nC ndodhen në vakum në kulmet e një katrori me brinjë 0,15m. Sa është potenciali elektrik në qendër të katrorit? (Zgjidhja: 679 V)?
6. Në hapësirë ndodhen dy ngarkesa pikësore të palëvizshme, me vlera 6 nC dhe -12 nC, të vendosura në largësi 50cm nga njëra-tjetra. Përcakto potencialin elektrik në pikën e hapësirës ku intensiteti i fushës elektrike është i barabartë me zero. (Zgjidhja: $x = 1,21$ m; -18,5 V).

1.5. Kapaciteti elektrik. Kondensatorët

Kur e fërkon një tullumbace në flokë, ajo elektrizohet me një ngarkesë elektrike të mjaftueshme për të tërhequr copa të vogla letre. Ky është një shembull i thjeshtë që tregon se një trup mund të elektrizohet dhe se trupi i elektrizuar zotëron energji. Ngarkesat elektrike mund të vendosen edhe në një përcjellës metalik, për shembull, në kokën e elektroskopit.

Nëse potenciali matet me një elektrometër të tokëzuar, vërehet se kur në kokën e tij vendoset ngarkesa q , potenciali i elektrometrit është φ . Nëse ngarkesa dyfishohet, potenciali bëhet 2φ , e kështu me radhë. Pra, sa më e madhe të jetë ngarkesa e vendosur në elektrometër, aq më i madh është edhe potenciali i tij. Raporti ndërmjet ngarkesës elektrike të përcjellësit dhe potencialit të tij është një madhësi konstante, përkatësisht:

$$\frac{q}{\varphi} = \frac{2q}{2\varphi} = \frac{3q}{3\varphi} = \text{const}.$$

Raporti ndërmjet sasisë së ngarkesës elektrike të një përcjellësi dhe potencialit të tij quhet kapacitet elektrik. Kapaciteti elektrik shënohet me C , përkatësisht:

$$C = \frac{q}{\varphi}.$$

Meqenëse me elektrometrin e tokëzuar matim diferencën e potencialit ndërmjet përcjellësit dhe Tokës (potenciali i së cilës merret i barabartë me zero $\varphi_z = 0$), për kapacitetin elektrik mund të shkruajmë:

$$C = \frac{q}{\varphi - \varphi_z}, \text{ përkatësisht } C = \frac{q}{U}.$$

Sipas formulës së fundit, kapaciteti i një përcjellësi është numerikisht i barabartë me ngarkesën që duhet t'i jepet atij, në mënyrë që tensioni i tij të jetë 1V. Njësia matëse e kapacitetit elektrik është faradi (1F):

$$1 \frac{C}{V} = 1F,$$

Kjo njësi është emërtuar për nder të shkencëtarit të madh anglez Majkëll Faradej.

Mënyra më e thjeshtë për të shqyrtuar vetitë e kapacitetit të një përcuesi është studimi i kapacitetit elektrik të një sfere të përbërë nga materiali përçues. Potenciali në sipërfaqen e një sfere të tillë, me rreze R dhe të ngarkuar me ngarkesë elektrike q , llogaritet me formulën

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}.$$

Duke përdorur formulën e kapacitetit elektrik, për kapacitetin e sferës fitojmë:

$$C = \frac{q}{\varphi} = 4\pi\epsilon_0 R.$$

Nga ekuacioni i fundit mund të përfundojmë se kapaciteti elektrik nuk varet nga materiali prej të cilit është ndërtuar përcuesi, por vetëm nga rrezja e sferës. Kapaciteti i një sfere me rreze 1m është afërsisht

$1,1 \cdot 10^{-10} \text{ F}$. Mund të përfundojmë se përcuesit e izoluar mund të ruajnë sasi të vogla ngarkese elektrike, sepse me rritjen e ngarkesës rritet me shpejtësi edhe potenciali i tyre. Për këtë arsye, ngarkesa zakonisht humbet nëpërmjet shkarkimit elektrik në mjedisin përreth ose përmes krijimit të një shkëndije. Për zbatime praktike në teknikë nevojiten pajisje me përmasa të vogla, të cilat mund të ruajnë sasi të mëdha ngarkese elektrike.

Nëpërmjet eksperimenteve është vërtetuar se në një sistem me dy përcues, ndërmjet të cilëve ndodhet një izolator (dielektrik), mund të ruhet një sasi më e madhe ngarkese elektrike dhe rrjedhimisht, edhe më shumë energji. Nga formula e kapacitetit elektrik rezulton se sa më e madhe të jetë sasia e ngarkesës elektrike që mund të ruajë një pajisje e tillë në një tension të caktuar, aq më i madh është kapaciteti i saj.

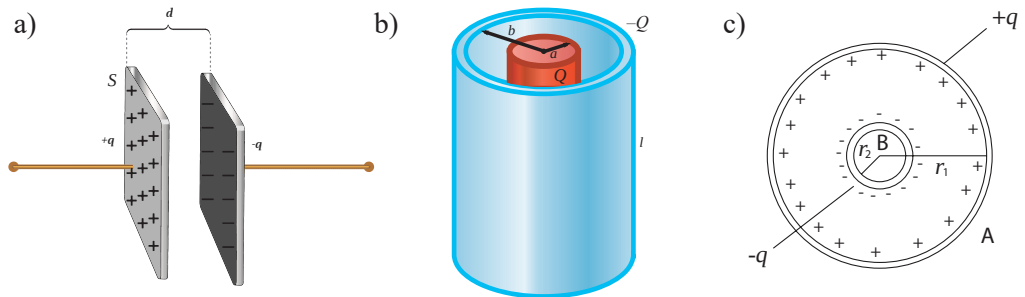
Pajisja e përbërë nga dy përcues të vendosur pranë njëri-tjetrit dhe të ndarë me një dielektrik quhet kondensator elektrik. Një pajisje e tillë ka përparësi ndaj një përcuesi të izoluar, sepse edhe kur elektrizohet me sasi të mëdha ngarkese elektrike, tensioni ndërmjet dy përcuesve mbetet i vogël. Përcuesit elektrizohen me ngarkesa elektrike me shenja të kundërta prandaj tërheqja e ndërsjellë ndërmjet tyre e rrit mundësinë për ruajtjen e një sasive shtesë ngarkese. Dielektriku i vendosur ndërmjet dy përcuesve pengon shkarkimin e tyre. Te kondensatorët elektrikë zgjidhet një formë dhe vendosje e tillë e përcuesve, që fusha elektrike e krijuar nga ngarkesat të jetë e pranishme vetëm në brendësi të kondensatorit. Fusha mund të jetë homogjene ose johomogjene, por parimi i funksionimit mbetet i njëjtë.

Në varësi të formës dhe mënyrës së vendosjes së përcuesve, kemi:

- **kondensator me pllaka** (figura 1a), i përbërë nga dy pllaka përcuese paralele ndërmjet të cilave është vendosur një dielektrik,

Figura 1. Llojet e kondensatorëve në varësi të gjeometrisë së përçuesve:

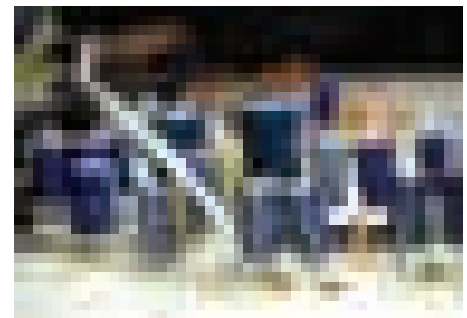
- a) me pllaka
- b) cilindrik
- c) sferik



- **kondensator cilindrik** (figura 1b), i përbërë nga dy përçues cilindrikë koaksialë (bashkëboshtorë) ndërmjet të cilëve është vendosur një dielektrik,
- **kondensator sferik** (figura 1c), i përbërë nga dy sfera përçuese koncentrike (bashkëqendrore) ndërmjet të cilave është vendosur një dielektrik.

Dielektriku ndërmjet përçuesve mund të jetë vakuum, ajër, material qeramik, një shtresë e hollë oksidi metalik, foli plastike etj. Në varësi të dielektrikut, kondensatorët mund të jenë me ajër, qeramikë, elektrolitikë, me foli plastike etj. (figura 2)

Figura 2. Kondensatorë të ndryshëm (elementet e paraqitura me ngjyrë blu) të vendosur në një pajisje elektronike



AKTIVITET 1.

Nga se varet kapaciteti i një kondensatori? Për të zbuluar nga se varet kapaciteti elektrik i një kondensatori, do të bëjmë një analogji me kapacitetin e një shisheje uji (figura 3). Në të vërtetë, kapaciteti i shishes është vëllimi i ujit që ajo mund të mbajë. Është e qartë se kapaciteti i saj nuk varet nga niveli deri në të cilin është mbushur shishja. Ai varet nga përmasat dhe forma e shishes, përkatësisht nga gjeometria e saj, por jo nga materiali prej të cilit është prodhuar. Një shishe që mund të mbajë një litër ujë ka të njëjtin kapacitet, pavarësisht nëse është prej qelqi apo plastike.

Situata është e ngjashme edhe me kondensatorin elektrik: kapaciteti i tij varet nga gjeometria e dy përçuesve, por jo nga materiali prej të cilit janë prodhuar ata.

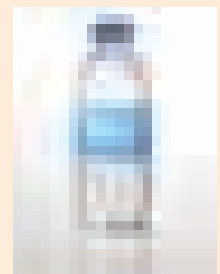


Figura 3. Shishe uji me kapacitet (vëllim) të caktuar.

Me grumbullimin e një sasi më të madhe ngarkese elektrike në një përçues të izoluar, rritet edhe potenciali i tij. Ngjashëm ndodh edhe te kondensatori: një sasi më e madhe ngarkese elektrike në përçuesit e tij krijon një tension më të lartë ndërmjet tyre. Të përcaktojmë se si lidhet tensioni ndërmjet pllakave të kondensatorit me sasinë e ngarkesës elektrike të vendosur në pllaka dhe me kapacitetin e tij.



AKTIVITETI 2.

Kokën e elektrometrin të tokëzuar lidhe me njërën pllakë përçuese të kondensatorit me pllaka, ndërsa pllakën tjetër tokëzoje (figura 4). Në pllakën e lidhur me elektrometrin vendos një ngarkesë elektrike, qoftë me anë të një makine elektrostatische, qoftë me një sondë provuese. Për shkak të induksionit elektrostatik, pllaka e tokëzuar e kondensatorit do të elektrizohet me një ngarkesë të barabartë në madhësi, por me shenjë të kundërt. Ndërmjet pllakave krijohet një fushë elektrike homogjene.

Për një sasi të caktuar ngarkese elektrike në pllaka, lexo vlerën e potencialit që tregon elektrometri. Me rritjen e sasisë së ngarkesës elektrike në pllakë, rritet edhe potenciali i pllakës së lidhur me elektrometrin. Kjo do të thotë se rritet edhe tensioni ndërmjet pllakave të kondensatorit.

Figura 4. Elektrometër i tokëzuar, i lidhur me një kondensator me pllaka



Matjet eksperimentale tregojnë se për një kondensator të caktuar raporti ndërmjet sasisë së ngarkesës elektrike dhe tensionit ndërmjet pllakave është një madhësi konstante. Ky raport quhet kapacitet elektrik i kondensatorit dhe llogaritet me formulën:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Ku q është madhësia e ngarkesës elektrike në secilën pllakë, ndërsa U është tensioni ndërmjet pllakave. Megjithëse kjo formulë e lidh kapacitetin e kondensatorit me ngarkesën dhe tensionin, kapaciteti nuk varet nga këto dy madhësi të ndryshueshme. Pra, kapaciteti i kondensatorit nuk varet nga sasia e ngarkesës elektrike në pllaka dhe as nga tensioni ndërmjet tyre, por nga përmasat e pllakave dhe lloji i dielektrikut ndërmjet tyre.

Një kondensator ka kapacitet prej një faradi, nëse ngarkesa elektrike në pllakat e tij është 1C, ndërsa tensioni ndërmjet tyre është 1V. Faradi është një njësi shumë e madhe për matjen e kapacitetit të kondensatorëve. Prandaj, në praktikë përdoren më shpesh njësi më të vogla, si mikrofaradi (μF), nanofaradi (nF) dhe pikofaradi (pF).

Pamë se kondensatori me pllaka përbëhet nga dy pllaka përçuese të elektrizuara ndërmjet të cilave ekziston një fushë elektrike. Pllakat kanë ngarkesa elektrike të barabarta në madhësi, por me shenja të kundërta $+q$ dhe $-q$. Në hapësirën ndërmjet pllakave, fusha elektrike është homogjene dhe intensiteti i saj është:

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 S},$$

ku q është madhësia e ngarkesës elektrike në secilën pllakë, ndërsa S është sipërfaqja e pllakave. Në këtë rast merret se ndërmjet pllakave të kondensatorit ka vakuum. Vini re: Megjithëse njëra pllakë është e elektrizuar pozitivisht dhe tjetra negativisht, në formulën për llogaritjen e intensitetit të fushës elektrike merret vetëm ngarkesa q e njërës pllakë përçuese. Edhe në rastin e përgjithshëm, kur thuhet se kondensatori është elektrizuar me ngarkesë q , merret parasysh vetëm ngarkesa e njërës prej dy përçuesve, përkatësisht ngarkesa pozitive e njërës përçues.

Nëse intensiteti i fushës elektrike shprehet nëpërmjet tensionit ndërmjet pllakave, atëherë për kapacitetin elektrik të kondensatorit me pllaka fitohet formula:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d}.$$

Kapaciteti i kondensatorit me pllaka varet nga sipërfaqja e pllakave (S), largësia ndërmjet tyre (d) dhe vetitë e mjedisit ndërmjet tyre. Madhësia ϵ_0 , të cilën e kemi paraqitur te forca e Kulonit, quhet konstanta dielektrike e vakuumit dhe vlera e saj është $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2)$. Për një gjeometri të caktuar të kondensatorit, kjo madhësi përcakton kapacitetin e tij. Vlera e saj e vogël (e rendit 10^{-12}) tregon se kur ndërmjet pllakave ka vakuum, kapaciteti është shumë i vogël. Për ta rritur kapacitetin e kondensatorit pa ndryshuar përmasat e pllakave, ndërmjet tyre vendoset një dielektrik, i cili e dobëson fushën elektrike. Kur hapësira ndërmjet pllakave mbushet me dielektrik në vend të vakuumit, intensiteti i fushës elektrike zvogëlohet, ndërsa kapaciteti i kondensatorit rritet, edhe pse sasia e ngarkesës elektrike në pllaka mbetet e pandryshuar.

Madhësia që përcakton vetitë elektrike të hapësirës quhet konstanta dielektrike relative ϵ_r e dielektrikut. Kapaciteti i një kondensatori me pllaka, ndërmjet të cilave ndodhet një dielektrik me konstantë dielektrike relative ϵ_r , llogaritet me formulën

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

.Meqenëse $\epsilon_r > 1$ për të gjithë dielektrikët, rezulton se vendosja e një dielektriku ndërmjet pllakave të kondensatorit e rrit kapacitetin e tij.



SHENBULL I ZGJIDHUR 1.

Pllakat e një kondensatori kanë secila sipërfaqe prej 30 cm^2 , ndërsa largësia ndërmjet tyre është 2 mm . Kondensatori është i lidhur me një burim tensioni dhe ngarkohet. Më pas, sipërfaqja aktive e mbivendosjes së pllakave zvogëlohet në 25 cm^2 . Sa herë dhe si do të ndryshojë sasia e ngarkesës elektrike në pllakat e kondensatorit si pasojë e zvogëlimit të sipërfaqes së mbivendosjes së tyre?

Të

$$S_1 = 30 \text{ cm}^2,$$

$$S_2 = 25 \text{ cm}^2,$$

$$U_1 = U_2 = U,$$

Kërkohet:

$$\frac{q_2}{q_1} = ?$$

Zgjidhje:

Kapaciteti i kondensatorit me pllaka, para dhe pas ndryshimit të sipërfaqes së pllakave, përcaktohet me ekuacionet:

$$C_1 = \epsilon_0 \frac{S_1}{d} \text{ dhe } C_2 = \epsilon_0 \frac{S_2}{d}.$$

Kur kondensatori lidhet me një burim tensioni, ai ngarkohet, përkatësisht në pllakat e tij vendoset ngarkesë elektrike. Sasia e ngarkesës elektrike llogaritet me formulat:

$$q_1 = C_1 U = \epsilon_0 \frac{S_1}{d} U \text{ dhe } q_2 = C_2 U = \epsilon_0 \frac{S_2}{d} U.$$

Meqenëse tensioni mbetet konstant, raporti ndërmjet ngarkesës elektrike para dhe pas ndryshimit të sipërfaqes është:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{\epsilon_0 \frac{S_2}{d} U}{\epsilon_0 \frac{S_1}{d} U} = \frac{S_2}{S_1} = 0,83.$$

Me zvogëlimin e sipërfaqes së pllakave të kondensatorit, zvogëlohet me të njëjtën përqindje edhe sasia e ngarkesës elektrike që ruhet në pllaka, sepse, kur tensioni është konstant, ngarkesa elektrike është në përpjesëtim të drejtë me sipërfaqen e pllakave.

Kondensatorët ruajnë energji elektrike në hapësirën ndërmjet pllakave dhe e çlirojnë atë kur nevojitet. Duhet të kemi parasysh se, ndryshe nga elementet galvanike (bateritë), në të cilat ruhet energji kimike, në kondensatorë ruhet energji elektrike. Kjo energji mund të shndërrohet në një formë tjetër energjie. Energjia elektrike e çliruar nga kondensatori është e barabartë me punën e nevojshme për elektrizimin e tij dhe llogaritet me formulën:

$$E = \frac{qU}{2}$$

ku q është ngarkesa elektrike e kondensatorit, ndërsa U është diferenca e potencialit ndërmjet pllakave të tij. Përveçse ruan ngarkesë dhe energji elektrike, kondensatori, së bashku me elemente të tjera të qarkut, mund ta ndërpresë qarkun, të filtrojë dhe të drejtojë tensionin alternativ. Ai përdoret gjithashtu për krijimin e vonesave kohore, ndryshimin e frekuencës dhe arritjen e rezonancës. Prandaj, kondensatorët janë të rëndësishëm dhe të pazëvendësueshëm në pajisje të tilla si telefonat celularë, defibrilatorët, llambat e blicit, si dhe në qarqet elektrike të shumë pajisjeve të tjera.



SHENBULL I ZGJIDHUR 2.

Pllakat e një kondensatori kanë secila sipërfaqe prej 60 cm^2 , dhe ndodhen në largësi 3 mm nga njëra-tjetra. Kondensatori lidhet me një burim tensioni konstant prej 200 V dhe ngarkohet plotësisht.

Të dhënat:

$$S = 60 \text{ cm}^2 = 60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2,$$

$$l_1 = 3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$l_2 = 6 \text{ mm} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$q_1 = q_2 = q$$

Kërkohet

$$E_1 - ?, E_2 - ?$$

Zgjidhje:

$$C_1 = \varepsilon_0 \frac{S}{d_1} = 1,77 \cdot 10^{-11} \text{ F}, \quad q_1 = C_1 U = 3,54 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

Energjia e kondensatorit me pllaka mund të përcaktohet me formulën:

$$E_1 = \frac{q_1 U}{2} = \frac{C_1 U^2}{2} = 0,354 \mu\text{J}.$$

Pas ndryshimit të largësisë ndërmjet pllakave të kondensatorit, ndryshon edhe kapaciteti i tij:

$$C_2 = \varepsilon_0 \frac{S}{d_2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F}.$$

Meqenëse kondensatori është shkëputur nga burimi, ngarkesa elektrike në pllaka mbetet e pandryshuar, përkatësisht: $q_1 = q_2$. Energjia e kondensatorit pas rritjes së largësisë ndërmjet pllakave mund të llogaritet me formulën:

$$E_2 = \frac{q_2 U_2}{2} = \frac{q_2^2}{2C_2} = 0,708 \mu\text{J}$$

prej nga, për raportin ndërmjet energjive të kondensatorit gjatë ndryshimit të largësisë ndërmjet pllakave, fitohet:

$$\frac{E_2}{E_1} = 2$$

Energjia dyfishohet kur largësia ndërmjet pllakave rritet nga 3 mm në 6 mm ndërsa ngarkesa elektrike mbetet e pandryshuar. Gjatë këtij procesi, një forcë e jashtme kryen punë për t'i larguar pllakat nga njëra-tjetra. Kjo punë ruhet si energji shtesë në fushën elektrike.

**ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME**

Defibrilatori është një pajisje mjekësore që përdoret për riaktivizimin e zemrës. Një nga përbërësit kryesorë të kësaj pajisjeje është kondensatori elektrik. Në brendësi të defibrilatorit ndodhet një kondensator me kapacitet relativisht të madh, i cili ngarkohet deri në një tension të lartë dhe ruan energjinë:

$$E = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

Pas aktivizimit të pajisjes, kjo energji çlirohet brenda një intervali kohor shumë të shkurtër nëpërmjet elektrodave të vendosura në kraharorin e pacientit. Gjatë këtij procesi krijohet një rrymë elektrike e kontrolluar, e

cila kalon nëpër muskulin e zemrës. Ky impuls elektrik i shkurtër dhe i fuqishëm rikthen aktivitetin elektrik të zemrës, duke i mundur njëjës sinoatriale të marrë kontrollin dhe të rivendosë ritmin normal sinusor.



Figura 5. Defibrilator



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse përçues të ndryshëm me të njëjtën ngarkesë elektrike mund të kenë potenciale të ndryshme? Si lidhet kjo me kapacitetin? Nga se varet kapaciteti elektrik i një përçuesi?
2. Dy pllakat paralele të një kondensatori lidhen me një burim tensioni dhe elektrizohen përkatësisht me ngarkesat $+q$ dhe $-q$. Pas ngarkimit të kondensatorit, burimi shkëputet. Më pas, largësia ndërmjet pllakave rritet. Çfarë ndodh me kapacitetin e kondensatorit, ngarkesën elektrike në pllaka dhe tensionin ndërmjet tyre?
3. Një përçuesi të paelektrizuar i jepet ngarkesa elektrike $2,4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$, me ç'rast potenciali i tij rritet në 30V. Përcakto kapacitetin e përçuesit. (Zgjidhja: $8 \cdot 10^{-7} \text{ F}$)
4. Intensiteti i fushës elektrostatiske ndërmjet pllakave të një kondensatori është 1,5 MV/m. Nëse largësia ndërmjet pllakave është 2 mm, sa është tensioni i kondensatorit? (Zgjidhja: 3 kV)
5. Pllakat e një kondensatori kanë sipërfaqe prej 40 cm², ndërsa largësia ndërmjet tyre është 4 mm. Kondensatori është i lidhur me një burim tensioni konstant prej 120V. Sa herë do të ndryshojë sasia e ngarkesës elektrike në pllaka, nëse largësinë ndërmjet tyre e rrisim me 1 mm? (Zgjidhja: $\frac{q_2}{q_1} = 0,8$)
6. Pllakat e një kondensatori kanë secila sipërfaqe prej 200 cm ndërsa largësia ndërmjet tyre është 4 mm. Fillimisht ndërmjet pllakave ka ajër, ndërsa më pas futet një pllakë plastike me konstantë dielektrike relative 4. Përcakto kapacitetin e kondensatorit kur ndërmjet pllakave ka ajër. Përcakto kapacitetin e tij pasi ndërmjet pllakave të jetë vendosur dielektriku. Sa herë rritet kapaciteti i kondensatorit pas vendosjes së dielektrikut? (Zgjidhja: $4,425 \cdot 10^{-11} \text{ F}$, $1,77 \cdot 10^{-10} \text{ F}$ katër herë)
7. Një kondensator me kapacitet 4200 pF lidhet me një tension prej 220V. Sa është energjia e ruajtur ndërmjet pllakave të kondensatorit? (Zgjidhja: $1,016 \cdot 10^{-4} \text{ J}$)

1.6. Rryma elektrike

Megjithëse elektriciteti statik dhe dukuritë e elektrizimit të trupave njiheshin që në kohën e lashtë, elektriciteti u bë bazë e teknologjisë moderne vetëm pasi shkencëtarët mësuan ta kontrollonin lëvizjen e ngarkesës elektrike. Prandaj, themi se çdo revolucion industrial i kanë paraprirë zbulime të rëndësishme shkencore dhe risi teknologjike. Çdo revolucion industrial paraqet një kthesë të madhe në mënyrën e prodhimit, zhvillimin e teknologjisë, marrëdhëniet ekonomike dhe jetën shoqërore. Njohuritë shkencore në fushën e mekanikës dhe të termodinamikës çuan në ndërtimin e makinës me avull dhe në fillimin e Revolucionit të Parë Industrial. Më vonë, arritjet shkencore në fushën e elektricitetit dhe të magnetizmit u bënë bazë e Revolucionit të Dytë Industrial. Fillimi i tij u shënuar nga prodhimi në shkallë të gjerë i rrymës elektrike dhe përdorimi i gjerë i energjisë elektrike.

Që nga ajo kohë, rryma elektrike është bërë pjesë e pandashme e jetës sonë të përditshme por edhe e vetë organizmit tonë. Rryma nuk ekziston vetëm në pajisjet teknike, por edhe në organizmat e gjallë. Impulset nervore që përçohen nëpër trupin e njeriut janë në të vërtetë sinjale elektrike, të bazuara në lëvizjen e joneve përmes membranave qelizore.

Rrymën elektrike si dukuri, përkatësisht efektet e saj, i vërejti për herë të parë Luixhi Galvani gjatë tkurrjes së këmbëve të bretkosës, kur muskujt prekeshin me dy metale të ndryshme, për shembull me bakër dhe zink. Galvani nuk arriti ta shpjegonte këtë dukuri. Më vonë, Alesandro Volta sqaroi se tkurrja shkatohej nga rryma elektrike, e cila rridhte si pasojë e diferencës së potencialit ndërmjet metaleve.

Volta arriti në përfundimin se mjaftonte të lidheshin dy metale të ndryshme ndërmjet të cilave ndodhej një elektrolit, për të krijuar një burim të rrymës elektrike. Ky zbulim çoi në krijimin e baterisë së parë në histori, e cila ishte burimi i parë artificial i rrymës elektrike. Për nder të Luixhi Galvanit, të gjitha burimet e rrymës elektrike që funksionojnë në bazë të proceseve kimike i quajmë elemente galvanike. Me përsosjen e këtyre burimeve të rrymës filloi një epokë e re në fizikë dhe teknologji, sepse për herë të parë u bë i mundur prodhimi i një rryme që mund të kontrollohej dhe të përdorej.

Në metale, atomet janë të renditura në një rrjetë të rregullt kristalore, ndërsa një pjesë e elektroneve të shtresës së fundit elektronike mund të shkëputen lehtësisht nga atomi. Pas shkëputjes, këto elektrone mund të lëvizin lirshëm nëpër të gjithë metalin dhe quhen elektrone të lira. Kur në përçues nuk ekziston fushë elektrike, elektronet e lira lëvizin në mënyrë të çrregullt, siç tregohet në figurën 1a. Shpejtësia e lëvizjes së tyre është shumë e madhe, e rendit 10^5 m/s. Elektronet e lira lëvizin në të gjitha drejtimet, prandaj nuk ekziston një lëvizje e kahëzuar. Mund të konsiderojmë se shpejtësia e tyre mesatare është zero dhe se nëpër përçues nuk kalon rrymë elektrike.

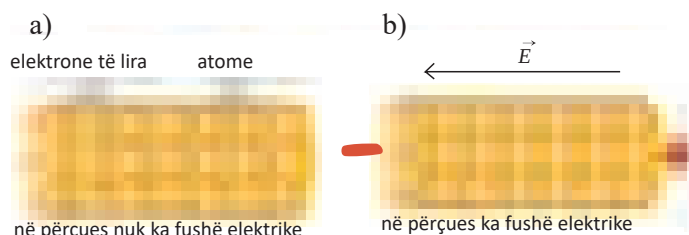


Figura 1. a) lëvizja e çrregullt termike e elektroneve të lira në metal. b) lëvizja e kahëzuar e elektroneve të lira në metal

Kur një përçues metalik lidhet në një qark elektrik me një burim rryme (element galvanik, bateri ose akumulator) në brendësi të përçuesit krijohet një fushë elektrike. Në këtë fushë, forca elektrike vepron mbi elektronet e lira dhe i detyron ato në kahjen e kundërt me kahjen e fushës, siç tregohet në figurën 1b. Shpejtësia e lëvizjes së kahëzuar të elektroneve të lira në metale është shumë e vogël dhe ka vlera nga 0,1 mm/s deri në 1 mm/s. **Lëvizja e kahëzuar e elektroneve të lira nëpër përçues paraqet rrymën elektrike.** Në metale, të cilat janë përçues të ngurtë, bartësit e ngarkesës elektrike janë elektronet e lira, ndërsa në elektrolite dhe në gazet e jonizuara bartësit e ngarkesës janë jonet dhe elektronet.

Intensiteti i rrymës elektrike

Ashtu si për të gjitha madhësitë fizike, edhe për rrymën elektrike është e nevojshme që ajo të përshkruhet dhe të matet në mënyrë sasiore. Për këtë qëllim, përcaktohet madhësia fizike e quajtur intensiteti i rrymës elektrike (ose shkurt, intensiteti i rrymës). Arsyeimi intuitiv dhe logjik tregon se rryma do të jetë më e fortë nëse, gjatë të njëjtit interval kohor, nëpër prerjen tërthore të përçuesit kalon një sasi më e madhe ngarkese elektrike. Intensiteti i rrymës elektrike përkufizohet si sasia e ngarkesës elektrike (q) që kalon nëpër prerjen tërthore të përçuesit në njësi të kohës. Ky përkufizim shprehet matematikisht me formulën:

$$I = \frac{q}{t},$$

ku I është simboli i intensitetit të rrymës elektrike ndërsa t është koha gjatë së cilës rryma kalon nëpër përçues.

Njësia matëse e intensitetit të rrymës elektrike është amperi (1A). Amperi është njëra nga shtatë njësitë themelore të përcaktuara në Sistemin Ndërkombëtar të Njësive (SI). Me rishikimin e sistemit SI në vitin 2019, njësia amper u përcaktua nëpërmjet konstantave themelore: ngarkesës elektrike elementare dhe njësisë themelore të kohës. Nga formula e intensitetit të rrymës përfitohet: $1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$. Një amper është intensiteti i një rryme elektrike konstante, gjatë së cilës, për 1s nëpër prerjen tërthore të përçuesit kalojnë $6,2415 \cdot 10^{18}$ ngarkesa elektrike elementare.

Për matjen e intensitetit të rrymës përdoret instrumenti matës i quajtur **ampermetër**.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Në një qark të thjeshtë elektrik, nëpër një llambë kalon rrymë konstante me intensitet 2,5 A. Llogarit sasinë e ngarkesës elektrike që do të kalojë nëpër llambë gjatë 15 minutave. Më pas, përcakto kohën që nevojitet për të kaluar e njëjta sasi ngarkese elektrike, nëse llamba zëvendësohet me një llambë të një lloji tjetër dhe intensiteti i rrymës nëpër të është 1 A.

Të dhënat: $I = 2,5 \text{ A}$, $t = 15 \text{ min} = 900 \text{ s}$, $I_1 = 1 \text{ A}$	Zgjidhje: Intensiteti i rrymës që kalon nëpër përçues përcaktohet me relacionin: $I = \frac{q}{t}$. Nga ky ekuacion, për sasinë e ngarkesës elektrike që kalon nëpër llambën e parë, fitohet: $q = I \cdot t = 2250 \text{ C} .$ Kur e zëvendësojmë llambën, ndryshon edhe intensiteti i rrymës. Që nëpër përçues të kalojë e njëjta sasi ngarkese elektrike, nevojitet koha: $t_1 = \frac{q}{I_1} = 2250 \text{ s} = 37,5 \text{ min} .$
Kërkohet: $q - ?$ $t_1 - ?$	



AKTIVITETI 1.

Diskutoni eksperimentin mendor në vijim. Nëpër dy përçues metalikë, njëri me prerje tërthore më të vogël dhe tjetri me prerje tërthore më të madhe, kalon rrymë me të njëjtin intensitet. A do të jenë të njëjta efektet e rrymës në të dy përçuesit? A e përfshin ekuacioni i intensitetit të rrymës edhe gjeometrinë e përçuesit? Mendoni përse në instalimet elektrike të shtëpisë, telat përçues që lidhen me shumicën e prizave kanë sipërfaqe të prerjes tërthore prej $2,5 \text{ mm}^2$, ndërsa telat që lidhen me ngrohësin e ujit, sobën elektrike dhe pajisje të ngjashme kanë sipërfaqe të prerjes tërthore prej 4 mm^2 .

Madhësia fizike dendësia e rrymës elektrike j tregon intensitetin e rrymës që kalon nëpër njësinë e sipërfaqes së prerjes tërthore të përçuesit dhe llogaritet me formulën:

$$j = \frac{I}{S} .$$

Njësia matëse e **dendësisë së rrymës elektrike** është $1 \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$. Kjo madhësi fizike ka rëndësi të veçantë në fizikë, elektronikë dhe energjetikë. Dendësia e madhe e rrymës mund të shkaktojë nxehje të tepërt dhe dëmtim të përçuesve, instalimeve elektrike dhe pajisjeve elektrike.

Burimet e rrymës dhe forca elektromotore (FEM) e burimit

Rryma elektrike kalon nëpër një përçues vetëm nëse ndërmjet skajeve të tij ekziston një ndryshim i potencialit elektrik. Kur dy skajet e një përçuesi vendosen në potenciale të ndryshme, elektronet fillojnë të lëvizin nga vendi me potencial më të ulët drejt vendit me potencial më të lartë. Kjo lëvizje zgjat për një kohë të shkurtër, sepse për shkak të ndryshimit të potencialit, elektronet rishpërndahen shpejt, ndryshimi i potencialit zvogëlohet dhe shpejt bëhet zero. Që rryma të vazhdojë të rrjedhë është e nevojshme të **mbahet vazhdimisht ndryshimi i potencialit në skajet e përçuesit**. Pajisjet që mundësojnë një ndryshim konstant të potencialit quhen burime të rrymës elektrike. Burimi kompenson edhe energjinë që bartësit ua japin elementeve të ndryshme të qarkut gjatë kalimit nëpër to dhe bën rishpërndarjen e tyre brenda burimit. Në këtë mënyrë, burimi mundëson që rryma të rrjedhë vazhdimisht.

Burimet më të njohura të rrymës janë elementi galvanik, bateria, gjeneratori elektrik dhe panel diellorë. Te elementet galvanike dhe bateritë, proceset kimike brenda burimit krijojnë ndryshim të potencialit ndërmjet elektrodave. Te gjeneratorët elektrikë, nëpërmjet veprimit magnetik dhe mekanik të rrymës, mbahet ndryshimi i potencialit në përçues. Në rastin e parë, energjia kimike shndërrohet në energji elektrike, ndërsa në rastin e dytë energjia mekanike shndërrohet në energji elektrike. Panelet diellorë e shndërrojnë energjinë e dritës në energji elektrike.

Në figurën 2 është paraqitur skica e një qarku të mbyllur elektrik me burim rryme, shpenzues dhe përçues. Pika A ndodhet në potencial më të ulët, ndërsa pika B në potencial më të lartë. Nën veprimin e fushës elektrike në përçues, elektronet lëvizin nga A-ja drejt B-së. Energjinë e nevojshme për bartjen e elektroneve brenda burimit e siguron burimi i rrymës. Nën veprimin e kësaj energjie, brenda burimit kryhet punë për bartjen e elektroneve nga B-ja në A. Një madhësi karakteristike e rëndësishme për çdo burim rryme është forca elektromotore (FEM), të cilën e shënojmë me ε . Këtu fjala „forcë“ nuk është zgjedhja më e mirë, sepse nuk bëhet fjalë për forcë në kuptimin mekanik e cila u jep energji elektroneve brenda burimit.

FEM-ja përkufizohet nëpërmjet punës që kryen burimi për bartjen e një ngarkese pozitive (1C) nga poli pozitiv në polin negativ të burimit:

$$\varepsilon = \frac{A}{q}$$

Njësia matëse e FEM-së është e njëjtë me njësinë e tensionit, volt (V). FEM-ja është tensioni maksimal që mund të sigurojë burimi kur nëpër të nuk rrjedh rrymë, përkatësisht kur qarku është i hapur. Kur qarku është i mbyllur dhe rryma rrjedh, energjia e burimit bartet si në pjesën e jashtme të qarkut, ashtu edhe brenda vetë burimit.

Kahja e rrymës elektrike

Shkencëtarët e kanë studiuar dhe përdorur rrymën elektrike njëqind vjet para se të zbulohet elektroni. Në atë kohë, ata e dinin se bartës të rrymës në elektrolite janë jonet pozitive dhe negative. Elektroni ende nuk ishte zbuluar kur shkencëtarët u morën vesh që si kah i rrymës në qarkun elektrik të merrej kahu i lëvizjes së joneve pozitive. Kjo do të thotë se sipas marrëveshjes rryma nëpër pjesën e jashtme të qarkut (nëpër përçues dhe shpenzues) merret se rrjedh nga poli pozitiv drejt polit negativ të burimit.

Më vonë u zbulua se bartësit e rrymës në metale janë elektronet të cilat kanë ngarkesë negative dhe lëvizin nëpër përçuesin, përkatësisht nëpër pjesën e jashtme të qarkut elektrik, nga poli negativ drejt polit pozitiv të burimit.

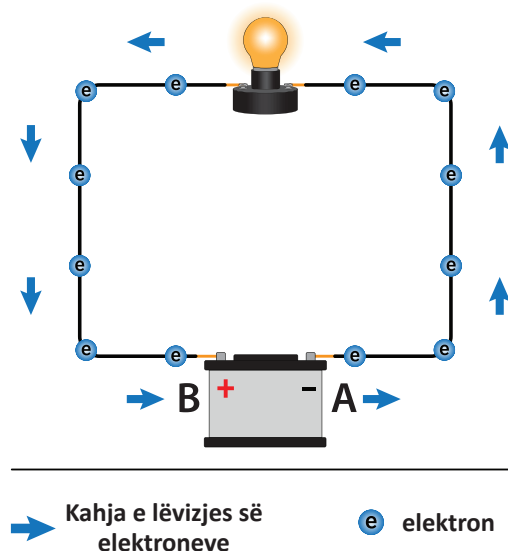


Figura 2. Skica e një qarku të thjeshtë elektrik

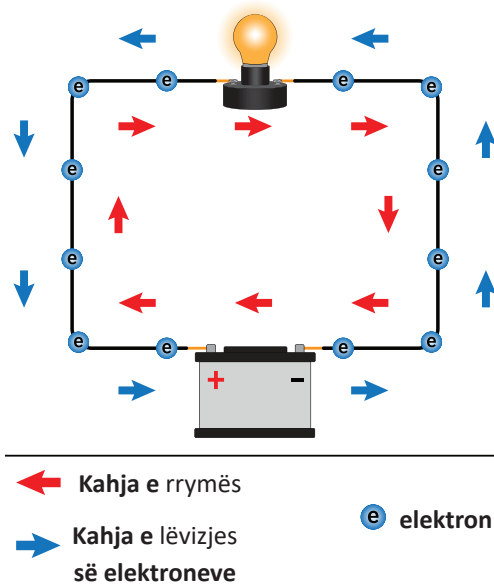


Figura 3. Kahja e rrymës dhe kahja e lëvizjes së elektroneve të lira

Megjithëse lëvizja reale e elektroneve ka kahje të kundërt me kahjen e përcaktuar fillimisht të rrymës, për arsye historike edhe sot është ruajtur kahja e përcaktuar me marrëveshje, pra kahja konvencionale e rrymës. Për të përdoret edhe emërtimi kahja teknike e rrymës (figura 3). Në të gjitha problemet dhe detyrat ku bëhet fjalë për rrjedhjen e rrymës, do t'i referohemi kahjes teknike të rrymës.

Rryma njëkahëshe dhe rryma alternative

Rryma elektrike me kalimin e kohës mund ta ndryshojë intensitetin dhe kahjen e saj. Në praktikë dallojmë rrymën njëkahëshe dhe rrymën alternative. Rryma njëkahëshe është rrymë elektrike që rrjedh në një kahje. Nëse intensiteti i saj mbetet konstant me kalimin e kohës, ajo quhet edhe rrymë njëkahëshe konstante (figura 4a). Burime të rrymës njëkahëshe konstante janë elementet galvanike, bateritë, akumulatorët dhe panelet diellore. Ndryshe nga ajo, rryma alternative rrjedh në një pjesë të kohës në një kahje dhe pjesën tjetër në kahjen e kundërt, përkatësisht e ndryshon kahjen e rrjedhjes. Përveç kahjes së rrjedhjes, te rryma alternative ndryshon periodikisht edhe intensiteti i saj. Këtë rrymë e përdorim çdo ditë në amvisëri dhe e marrim nga rrjeti elektrik i qytetit (figura 4b). Rryma njëkahëshe zakonisht shënohet me „DC“ (direct current), ndërsa rryma alternative shënohet me „AC“ (alternating current).

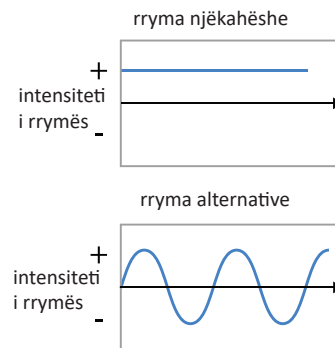


Figura 4. a) Rryma njëkahëshe konstante; b) Rryma alternative



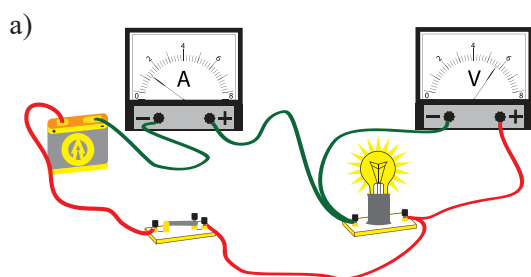
AKTIVITETI 2.

Qarku i thjeshtë elektrik

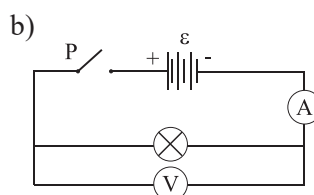
Ndërto një qark të thjeshtë elektrik me këto elemente: burim rryme (element galvanik prej 1,5V ose bateri prej 9V), ndërprerës, shpenzues dhe tela përçues (figura 5a). Si shpenzues përdor llamba të ndryshme, motor elektrik, ventilator etj. Në dispozicion ke edhe instrumentet matëse: ampermetrin dhe voltmetrin. Ampermetri lidhet gjithmonë në seri (varg) me shpenzuesin nëpër të cilin duam të matim intensitetin e rrymës. Voltmetri lidhet gjithmonë paralelisht me shpenzuesin, për të matur tensionin në skajet e tij.

Me voltmetër mat FEM-në e burimit kur qarku elektrik është i hapur. Pastaj mat tensionin në skajet e shpenzuesit kur qarku është i mbyllur dhe krahasoje vlerën e tij me FEM-në e matur të burimit. A ndryshojnë këto vlera? Nëse po, diskutoni arsyet e këtij ndryshimi.

Tani, me ampermetër mat intensitetin e rrymës që rrjedh në qark. Mat intensitetin e rrymës edhe në pika të tjera të qarkut elektrik, para dhe pas ndërprerësit. A janë të njëjta vlerat që tregon ampermetri apo ndryshojnë? Diskutoni rezultatet e matjeve.



Qarqet reale elektrike mund t'i paraqesim në mënyrë të thjeshtuar ose me anë të skemës së qarkut elektrik. Për paraqitjen e elementeve të qarkut përdorim simbole. Në



skema tregohet qartë mënyra e lidhjes së elementeve në qarkun elektrik, siç është paraqitur në figurën 5b. Në skemat elektrike, për paraqitjen e elementeve të qarkut përdorim simbolet e paraqitura në figurën 6.

Figura 5. a) Qark i thjeshtë elektrik në të cilin janë lidhur bateria, llamba, ndërprerësi, ampermetri dhe voltmetri; b) skema e qarkut elektrik

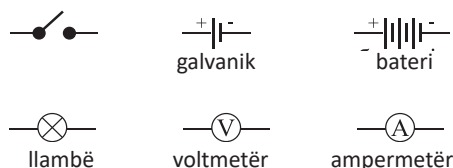


Figura 6. Simbolet e elementeve të qarkut elektrik

MËSO MË SHUMË

Intensiteti i rrymës elektrike është madhësi që jep informacion për rrymën nëpër përçuesin si tërësi. Dendësia e rrymës është e rëndësishme, sepse prej saj varen nxehja e përçuesve, siguria elektrike dhe regjimi i punës së pajisjeve elektrike. Dendësia tepër e madhe e rrymës mund të shkaktojë mbinxehje, dëmtim të materialeve ose defekte në qarqet elektrike, ndërsa dendësia e zgjedhur siç duhet siguron funksionim të sigurt dhe efikas të sistemeve elektrike. Intensiteti i rrymës dhe dendësia e saj janë madhësi makroskopike që mund të maten në mënyrë të thjeshtë. Dendësia e rrymës lidhet me madhësi mikroskopike, të cilat

nuk mund të maten aq lehtë. Kjo varësi jepet me formulën:

$$\vec{j} = ne\vec{v},$$

ku n është përqendrimi i bartësve të lirë të ngarkesës $n = \frac{N}{V}$ (numri i grimcave për njësi vëllimi) dhe shprehet me njësinë m^{-3} , ndërsa v është shpejtësia mesatare e lëvizjes së kahëzuar të bartësve të lirë. Kjo formulë shpjegon pse metalet janë përçues të mirë të rrymës elektrike. Edhe pse shpejtësia mesatare e lëvizjes së kahëzuar të elektroneve është e vogël, përqendrimi i tyre në metale është shumë i madh.

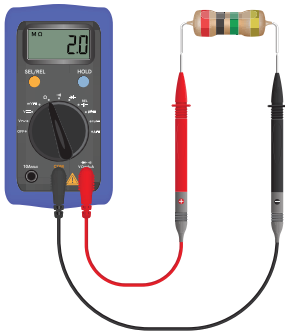


PYETJE DHE DETYRA

1. Pse lëvizja kaotike e elektroneve nuk krijon rrymë elektrike?
2. Cilat kushte duhet të plotësohen që nëpër përçues të rrjedhë rrymë elektrike?
3. Cila është lidhja ndërmjet fushës elektrike dhe rrymës elektrike?
4. Nëpër një ngrohës elektrik rrjedh rrymë konstante me intensitet 2,5A gjatë 8 min:
 - a) Sa ngarkesë elektrike ka kaluar nëpër ngrohës? (Zgjidhja: 1 200 C)
 - b) Sa elektrone kanë kaluar gjithsej nëpër ngrohës? Ngarkesa e elektronit është $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. (Zgjidhja $7,5 \cdot 10^{21}$ elektrone)
5. Nëpër një llambë rrjedh rrymë konstante me intensitet 0,8A gjatë 3min. Më pas, duke rrotulluar butonin e ndërprerësit në mur ndriçimi i llambës rritet. Tani nëpër të rrjedh rrymë me intensitet 1,5A gjatë 30s. Sa është sasia e përgjithshme e ngarkesës elektrike që ka kaluar nëpër llambë? (Zgjidhja: 189C)

1.7. Rezistenca elektrike. Rezistorët

Rryma elektrike paraqet lëvizjen e kahëzuar të bartësve të lirë të ngarkesës nëpër përçues, por kjo lëvizje nuk është e papenguar. Në nivel mikroskopik, te përçuesit metalikë elektronet e lira gjatë lëvizjes së tyre të kahëzuar përplasen vazhdimisht me atomet dhe jonet në rrjetën kristalore të metalit. Gjithashtu, ato hasin në defekte të rrjetës kristalore dhe në papastërti (për shembull në atome të elementeve të tjera). Kjo nuk është përplasje në kuptimin e drejtpërdrejtë të fjalës, por bashkëveprim i elektroneve të lira me jonet dhe elektronet e lidhura në metal, gjatë të cilit elektronet e lira humbin një pjesë të energjisë së tyre kinetike. Energjia kinetike e humbur e elektroneve shndërrohet në energji të brendshme të përçuesit, prandaj ai nxehet. Kundërshtimin që materiali i bën lëvizjes së kahëzuar të elektroneve, në nivel makroskopik e njohim si rezistencë elektrike.



Rezistencën elektrike të një përçuesi ose të një shpenzuesi e shënojmë me R . Njësia matëse e rezistencës elektrike është om (1Ω). Kjo njësi është emërtuar për nder të fizikanit gjerman Georg Om, i cili dha një kontribut të rëndësishëm në zbulimin e ligjeve të rrymës elektrike. Njësi më të mëdha matëse janë kiloomi ($k\Omega$) dhe megaomi ($M\Omega$). Për matjen e rezistencës elektrike përdorim instrumentin matës të quajtur ommetër (figura 1).

Figura 1. Matja e rezistencës elektrike me ommetër

Rezistorët

Vetia e disa materialeve për ta kundërshtuar në mënyrë të konsiderueshme lëvizjen e elektroneve të lira shfrytëzohet te elementet elektrike të njohura si rezistorë. Rezistori, si element i qarkut elektrik, përdoret për kontrollimin e intensitetit të rrymës elektrike në qark. Me lidhjen e një rezistori në qarkun elektrik mund të zvogëlohet intensiteti i rrymës, duke i mbrojtur elementet e tjera të qarkut nga dëmtimi dhe djegia. Rezistorët janë pjesë përbërëse kryesore të disa pajisjeve ngrohëse, si tharësja e flokëve, hekuri, ngrohësja, ngrohësi i ujit, soba elektrike etj. Në këto pajisje, rezistorët e shndërrojnë energjinë elektrike në energji termike të dobishme. Rezistorët e tillë i quajmë ngrohës. Sot nuk ekziston pajisje elektrike që nuk përmban rezistorë për rregullimin e rrjedhës së rrymës elektrike. Në figurën 2 janë paraqitur simbolet që përdoren për rezistorët në skemat e qarqeve elektrike.

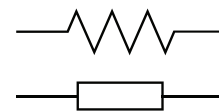


Figura 2. Simbolet e rezistorit



AKTIVITETI 1.

Matja e rezistencës me ommetër (metoda e drejtpërdrejtë)

Me një multimetër digjital që ka funksionin e matjes së rezistencës ose me një ommetër analog, mat rezistencën e disa rezistorëve dhe shpenzuesve elektrikë. Për matjen e drejtpërdrejtë të rezistencës, rezistori ose shpenzuesi duhet të jetë i shkëputur nga qarku elektrik dhe kontaktet e tij duhet të jenë të lira. Vendose diapazonin e instrumentit matës në një vlerë më të madhe se rezistenca e pritshme. Me dy telat kontaktues të instrumentit matës prek kontaktet e rezistorit, përkatësisht të shpenzuesit. Mat rezistencën e disa rezistorëve, të disa llambave të ndryshme, të një teli rezistues dhe të një teli të gjatë përçues, siç tregohet në figurën 1.

Llojet e rezistorëve

Në varësi të mundësisë së ndryshimit të rezistencës, rezistorët mund të jenë: rezistorë me rezistencë konstante dhe rezistorë me rezistencë të ndryshueshme. Te rezistorët e parë, vlera e rezistencës është konstante dhe nuk mund të ndryshohet. Këta janë rezistorët që përdoren më shpesh në qarqet elektrike. Karakteristikë e tyre është se gjithmonë kanë një shenjë dalluese, (kod me ngjyra ose me numra) që tregon vlerën e rezistencës. Ata prodhohen në forma të ndryshme dhe prej materialeve të ndryshme.

Rezistorët me rezistencë të ndryshueshme mundësojnë ndryshimin e kontrolluar të rezistencës në qarkun elektrik. Në këtë mënyrë mund të rregullohet forca elektromotore e burimit ose intensiteti i rrymës në qark. Lloji më i përhapur është rezistori me rrëshqitës (figura 3a), i cili përbëhet nga një tel i mbështjellë, mbi të cilin lëviz rrëshqitësi. Këta rezistorë kanë tri pika lidhëse. Në varësi të mënyrës se si lidhet në qark, me të mund të rregullohet jo vetëm intensiteti i rrymës, por edhe forca elektromotore në qark. Nëse duhet të rregullohet forca elektromotore, rezistori lidhet në qark me të dy skajet dhe me rrëshqitësin. Në këtë rast quhet potenciometër

(figura 3b). Për rregullimin e intensitetit të rrymës, rezistori lidhet në qark me njërin skaj dhe me rrëshqitësin. Në këtë rast, rezistori i ndryshueshëm quhet reostat (figura 3c).

Rezistenca elektrike e përçuesit linear

Në elektroteknikë kanë rëndësi të madhe përçuesit, gjatësia e të cilëve është shumë më e madhe se përmasat e tjera. Një përçues i tillë metalik, homogjen dhe me prerje tërthore konstante përgjatë gjithë gjatësisë, quhet përçues linear. Gjatësia l e përçuesit ndikon dukshëm në rezistencën e tij. Sa më i gjatë të jetë përçuesi aq më e madhe është rruga që përshkojnë elektronet dhe, rrjedhimisht, aq më i madh është numri i përplasjeve. Prandaj, përçuesi me gjatësi më të madhe ka rezistencë elektrike më të madhe.

Edhe sipërfaqja e prerjes tërthore S e përçuesit ka rol të rëndësishëm. Në një përçues me prerje tërthore më të madhe ka më shumë hapësirë për lëvizjen e elektroneve të lira, prandaj rezistenca është më e vogël.

Për një përçues linear homogjen me gjatësi l , prerje tërthore S dhe temperaturë konstante, rezistenca elektrike përcaktohet me formulën:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

ku ρ është **rezistenca elektrike specifike** e materialit. Rezistenca elektrike specifike ρ është madhësi që tregon se sa e kundërshton materiali lëvizjen e bartësve të lirë të ngarkesës të përçuesit linearë. Metalet, si argjendi dhe bakri, kanë vlerë të vogël të ρ , prandaj përdoren në instalimet elektrike. Izolatorët, si goma, plastika dhe porcelani, kanë vlerë shumë të madhe të rezistencës elektrike specifike dhe praktikisht nuk e përçojnë rrymën. Prandaj, ato përdoren si materiale për izolim elektrik.

Nëse nga formula shprehet rezistenca specifike dhe zëvendësohen njësitë matëse të madhësive, fitohet se njësia matëse e rezistencës elektrike specifike është $1 \Omega \cdot m$. Në tabelën 1 janë dhënë vlerat e rezistencës elektrike specifike të disa materialeve.

Materiali (përçues)	Rezistenca specifike ($\Omega \cdot m$)	Materiali (gjysmëpërçues)	Rezistenca specifike ($\Omega \cdot m$)	Materiali (izolator)	Rezistenca specifike ($\Omega \cdot m$)
argjend	$1,6 \cdot 10^{-8}$	karbon	$3,5 \cdot 10^{-5}$	dru i thatë (ah, lis)	$10^9 - 10^{12}$
bakër	$1,7 \cdot 10^{-8}$	germanium	0,5	mikë	$10^{11} - 10^{15}$
hekur	$9,7 \cdot 10^{-8}$	silici	20-2300	gomë e fortë	$10^{13} - 10^{16}$

Tabela 1. Rezistenca elektrike specifike e disa materialeve: përçuesve, gjysmëpërçuesve dhe izolatorëve në temperaturë 20 °C.

Vlerat e rezistencës specifike të gjysmëpërçuesit ndryshojnë në varësi të pastërtisë së materialit, përkatësisht të pranisë së papastërtive në të. Te izolatorët, si druri i thatë, ndikon përqindja e lagështisë. Vlerat e dhëna në tabelë për ahun dhe lisen i përgjigjen një lagështie prej afërsisht 10%. Te mika dhe goma, përveç lagështisë, ndikojnë edhe papastërtitë, vjetërsia e materialit etj.

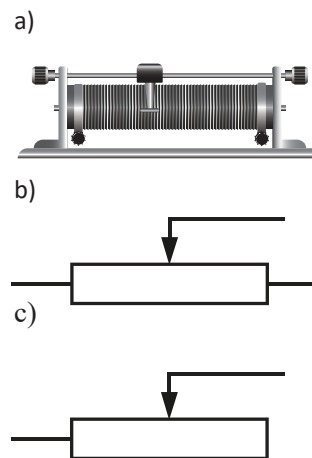


Figura 3. a) Rezistor me rrëshqitës; b) Potenciometër; c) Reostat



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një tel bakri me rezistencë specifike $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, diametër 1,5 mm dhe gjatësi 120 m duhet të përdoret në një instalim elektrik. Në projekt është përcaktuar që rezistenca e përçuesit të mos jetë më e madhe se $1,1 \Omega$. Llogarit rezistencën e telit me diametrin e dhënë. Nëse rezistenca është më e madhe se vlera e lejuar, përcakto sa duhet të jetë diametri i një teli tjetër bakri, me të njëjtin material dhe të njëjtën gjatësi, në mënyrë që rezistenca të mos e kalojë vlerën maksimale të përcaktuar.

Të dhënat:

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m},$$

$$d = 1,5 \text{ mm} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$l = 120 \text{ m}, R_{\max} = 1,1 \Omega$$

Kërkohet:

$$R - ?, d_1 - ?$$

Zgjidhje:

Sipërfaqja e prerjes tërthore të përçuesit është sipërfaqja e një rrethi me diametër d , prandaj mund të shkruajmë: $S = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$. Nëse kjo shprehje zëvendësohet në ekuacionin e rezistencës elektrike, për rezistencën e telit fitojmë: $R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{4l}{\pi d^2} = 1,15 \Omega$.

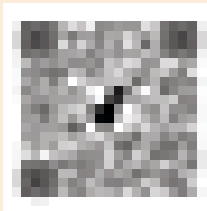
Nga vlera e llogaritur vërehet se rezistenca e telit është më e madhe se vlera maksimale e lejuar. Prandaj, duhet të llogarisim diametrin e telit tjetër, rezistenca e të cilit duhet të jetë $1,1 \Omega$. Për diametrin e këtij teli përfitojmë shprehjen $d_1 = 2 \sqrt{\frac{\rho \cdot l}{\pi R_{\max}}}$. Pas zëvendësimit të vlerave numerike fitojmë: $d_1 = 1,54 \text{ mm}$.



AKTIVITETI 2.

Nga se varet rezistenca e përçuesit linear – ndryshimi vizual

Me ndihmën e simulimit PhET „Rezistenca e përçuesit linear“ (<https://phet.colorado.edu/mk/simulations/resistance-in-a-wire>) përcakto se si ndryshimi i materialit, gjatësisë dhe sipërfaqes së prerjes tërthore të përçuesit linear ndikon në rezistencën e tij elektrike. Nëpërmjet paraqitjes vizuale dhe vlerave të treguara në simulim, vëzhgo se si ndryshon rezistenca e përçuesit gjatë ndryshimit të këtyre parametrave. Më pas, përpiku të nxjerrësh përfundime për varësinë e rezistencës elektrike nga vetitë fizike dhe gjeometria e përçuesit.



Varshmëria e rezistencës nga temperatura

Rezistenca elektrike specifike është veti karakteristike e materialeve dhe në një temperaturë të caktuar ka një vlerë të përcaktuar saktë. Megjithatë, me ndryshimin e temperaturës së materialit ndryshon edhe rezistenca e tij elektrike specifike. Sipas ekuacionit të rezistencës së përçuesit linear, rezistenca varet nga gjatësia, sipërfaqja e prerjes tërthore dhe rezistenca elektrike specifike. Meqenëse gjatë ndryshimit të temperaturës gjatësia dhe prerja tërthore e përçuesit ndryshojnë shumë pak (zakonisht mund të shpërfillen), ndryshimi i rezistencës shkaktohet kryesisht nga ndryshimi i rezistencës elektrike specifike të materialit. Te metalet, me rritjen e temperaturës rritet edhe rezistenca elektrike sepse atomet fillojnë të lëkunden më intensivisht rreth pozitës së tyre të ekuilibrit dhe e kundërshtojnë më shumë lëvizjen e kahëzuar të elektroneve. Pra, me rritjen e temperaturës rritet amplituda e lëkundjeve të grimcave të rrejtës kristalore. Për këtë arsye, bashkëveprimi i këtyre grimcave me elektronet e lira bëhet më intensiv. Për një interval të gjerë temperaturash, varësia e rezistencës nga temperatura është afërsisht lineare dhe mund të shprehet me formulën:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

ku R është rezistenca e përçuesit në temperaturën t , ndërsa R_0 është rezistenca e përçuesit në temperaturën 0°C . Koeficienti α është koeficienti termik i rezistencës për një substancë të caktuar dhe shprehet me njësinë $^\circ\text{C}^{-1}$. Te metalet α ka vlerë pozitive, ndërsa te gjysmëpërçuesit ka vlerë negative. Kjo do të thotë se me rritjen e temperaturës, rezistenca e gjysmëpërçuesit zvogëlohet. Grafiku i varësisë së rezistencës elektrike nga temperatura për një metal dhe një gjysmëpërçues është paraqitur në figurën 4.

Varësia e rezistencës elektrike nga temperatura ka zbatim të gjerë praktik në teknikë dhe në jetën e përditshme. Ajo përdoret për matjen e temperaturës me anë të termometrave me rezistencë, tek të cilët ndryshimi i temperaturës shkakton drejtpërdrejt ndryshimin e rezistencës. Në këtë varësi bazohet edhe funksionimi i termostateve dhe i sistemeve për rregullimin automatik të temperaturës. Gjithashtu, nëpërmjet matjes së rezistencës mund të përcillet në mënyrë të tërthortë nxejha e pajisjeve dhe linjave elektrike, gjë që është e rëndësishme për mbrojtjen dhe funksionimin e tyre të sigurt.

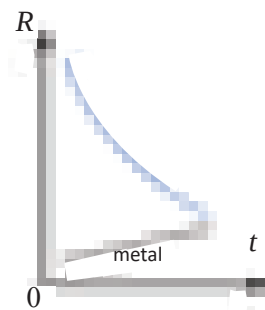


Figura 4. Ndryshimi i rezistencës elektrike me rritjen e temperaturës për metalin dhe gjysmëpërçuesin

Superpërçueshmëria

Ekziston një grup materialesh të cilat rezistenca elektrike specifike dhe rrjedhimisht edhe rezistenca e tyre zvogëlohen deri në zero kur temperatura bie nën një vlerë të caktuar, të quajtur temperaturë kritike (T_c). Materialet e tilla quhen superpërçues ndërsa dukuria quhet superpërçueshmëri. Për shumicën e materialeve, kjo ndodh në temperatura prej disa kelvinësh mbi zeron absolute. Materialet e tilla mundësojnë që rryma të rrjedhë nëpër to pa humbje. Superpërçuesit jo vetëm që shfaqin sjellje elektrike krejtësisht të ndryshme nga përçuesit e zakonshëm, por superpërçueshmëria paraqet edhe një gjendje të re fizike të materies. Superpërçuesit e parë të zbuluar ishin metale, si mercuri dhe plumbi. Ata bëhen superpërçues vetëm në temperatura shumë të ulëta, pranë zeros absolute. Më vonë, kjo dukuri u zbulua edhe te disa materiale qeramike në temperatura më të larta (90–135)K. Këta quhen superpërçues të temperaturave të larta. Superpërçuesit kanë rëndësi të madhe në teknologjinë bashkëkohore. Ata përdoren për krijimin e fushave magnetike shumë të fuqishme dhe të qëndrueshme, në tela përçues pa humbje të energjisë elektrike dhe më konkretisht në diagnostikën mjekësore, transport, kompjuterët kuantikë, përshpejtuesit e grimcave etj.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Një tel i prodhuar prej argjendi ka rezistencë $0,85 \Omega$ në temperaturën 25°C . Teli përdoret në një pajisje që gjatë punës arrin temperaturën 125°C . Koeficienti termik i rezistencës për argjendin është 125°C . Koeficienti termik i rezistencës për argjendin është $0,0038^\circ\text{C}^{-1}$.

- Përcakto rezistencën elektrike të telit në temperaturën e punës së pajisjes
- Llogarit temperaturën në të cilën rezistenca do të $2,1 \Omega$.

Të dhënat

$R_1 = 0,85 \Omega$, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $t_2 = 125^\circ\text{C}$,
 $\alpha = 0,0038^\circ\text{C}^{-1}$, $R_3 = 2,1 \Omega$

Kërkohet:

- R_2 - ?, 6) t_1 - ?.

Zgjidhje:

a) Sipas formulës së varësisë së rezistencës së telit nga temperatura, rezistencën e telit në të dyja temperaturat mund ta shkruajmë: $R_1 = R_0(1 + \alpha t_1)$, $R_2 = R_0(1 + \alpha t_2)$. Duke e shprehur nga ekuacioni i parë rezistencën e telit në temperaturën 0°C dhe duke e zëvendësuar atë në ekuacionin e dytë, fitojmë:

$$R_2 = \frac{R_1}{(1 + \alpha t_2)} (1 + \alpha t_2) = 1,17 \Omega$$

b) Për ta gjetur temperaturën në të cilën teli do të ketë rezistencën $R_3 = 2,1 \Omega$, shkruajmë ekuacionin: $R_3 = R_0 (1 + \alpha t_3)$, prej nga për temperaturën fitojmë $t_3 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_3}{R_0} - 1 \right)$. Duke e shprehur rezistencën e telit në temperaturën 0°C njësoj si në rastin nën a), dhe duke e zëvendësuar në ekuacionin e fundit, fitojmë:

$$t_3 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{R_3}{R_1} (1 + \alpha t_1) - 1 \right) = 412^\circ \text{C}$$



MËSO MË SHUMË

Madhësia fizike që është e barabartë me vlerën reciproke të rezistencës elektrike specifike paraqet përçueshmërinë elektrike specifike:

$$\sigma = \frac{1}{\rho}.$$

Përçueshmërinë elektrike specifike e shënojmë me σ (lexohet „sigma“), ndërsa njësia themelore matëse e saj është $(\Omega \cdot \text{m})^{-1}$. Kjo madhësi është karakteristikë e materialit dhe tregon se sa lehtë lëvizin bartësit e ngarkesës nëpër material. Një vlerë më e madhe e σ do të thotë se materiali është përçues i mirë i rrymës. Përçueshmëria elektrike specifike paraqitet si konstante e proporcionalitetit në një formulë të rëndësishme. Sipas kësaj formule, dendësia e rrymës është në përpjesëtim të drejtë me intensitetin e fushës elektrike në përçues:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}.$$

Kjo shprehje tregon se vetitë mikroskopike, të përcaktuara nga struktura e përçuesit (σ) ndikojnë në efektet makroskopike, (dendësinë e rrymës). Pra, rryma elektrike nuk është dukuri e izoluar. Ajo është rezultat i veprimit të fushës elektrike mbi bartësit e ngarkesës në material, përkatësisht rezultat i përbashkët i lëvizjes së një numri shumë të madh grimcash që bartin ngarkesë. Efektet e rrymës elektrike vërehen menjëherë pas krijimit të qarkut të mbyllur elektrik, sepse fusha elektrike krijohet shumë shpejt. Për shembull, pas aktivizimit të ndërprerësit, drita e llambës vërehet menjëherë.



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse kabllo elektrike mund të nxehen kur nëpër to rrjedh rrymë?
2. Në ç'mënyrë tharësja e flokëve kur e lidhim në qarkun elektrik e ngroh shpejt ajrin?
3. Për të prodhuar një rezistor me rezistencë $3,5 \Omega$, duhet të përdoret një tel bakri me sipërfaqe të prerjes tërthore $0,8 \text{ mm}^2$. Sa duhet të jetë gjatësia e telit, nëse rezistenca specifike e bakrit është $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$? (Zgjidhja: $l = 165 \text{ m}$)
4. Një tel përçues prej bakri me sipërfaqe të prerjes tërthore 4 mm^2 duhet të zëvendësohet me një tel përçues prej alumini ndërsa rezistenca e përgjithshme e përçuesit duhet të mbetet e njëjtë. Sa duhet të jetë sipërfaqja e prerjes tërthore të telit të aluminit, nëse rezistenca specifike e bakrit është $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, ndërsa ajo e aluminit është $2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$? (Zgjidhja: $S = 6,6 \text{ mm}^2$)
5. Dy përçues janë prodhuar prej materialeve të ndryshme. Rezistenca specifike e materialit të parë është dy herë më e madhe se rezistenca specifike e materialit të dytë. Sipërfaqja e prerjes tërthore të përçuesit

të parë është tri herë më e madhe se ajo e përçuesit të dytë. Përcakto sa duhet të jetë gjatësia e përçuesit të parë, nëse gjatësia e të dytit është 5 m, në mënyrë që rezistencat e tyre elektrike të jenë të barabarta. (Zgjidhja: $l_1 = 7,5 \text{ m}$)

6. Rezistenca e fijes së volframit në një llambë elektrike është $18,0 \, \Omega$ në temperaturën 300°C . Sa do të jetë temperatura e fijes kur rezistenca të rritet në $96,0 \, \Omega$ nëse koeficienti termik i rezistencës së volframit është $0,0045 \, ^\circ\text{C}^{-1}$? (Zgjidhja: $t = 1263 \, ^\circ\text{C}$)

1.8. LIGJI I OMIT PËR NJË PJESË DHE PËR TËRË QARKUN ELEKTRIK

Fizikani gjerman Georg Om, në gjysmën e parë të shekullit XIX, kreu një varg hulumtimesh eksperimentale, në bazë të të cilave formuloi përfundimet që sot njihen si ligjet e Omit për qarkun elektrik. Ligji i parë quhet Ligji i Omit për një pjesë të qarkut elektrik dhe përshkruan varësinë ndërmjet intensitetit të rrymës elektrike dhe tensionit të elementet pasive të qarkut elektrik, si rezistori, shpenzuesi ose përçuesi. Ligji i dytë, Ligji i Omit për tërë qarkun elektrik, përveç elementeve pasive, përfshin edhe elementin aktiv të qarkut, përkatësisht burimin e forcës elektromotore, i cili mund të jetë element galvanik, bateri, gjenerator, panel diellore ose ndonjë burim tjetër. Elementet pasive të qarkut elektrik e shndërrojnë energjinë elektrike në forma të tjera të energjisë (termike, të dritës, mekanike etj.) ndërsa elementet aktive kryejnë shndërrimin e kundërt, duke krijuar energji elektrike nga një formë tjetër e energjisë. Për nder të kontributit të tij, njësia e rezistencës elektrike në Sistemin Ndërkombëtar të Njësive (SI) mban emrin om (Ω).

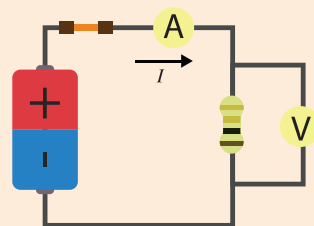


AKTIVITETI 1.

Hulumtimi i lidhjes ndërmjet tensionit dhe intensitetit të rrymës

Ndërto një qark të thjeshtë elektrik me burim rryme, ndërprerës, rezistor, ampermetër dhe voltmetër. Ampermetrin lidhe në seri (varg) me rezistorin, ndërsa voltmetrin paralelisht me rezistorin, figura 1. Për një tension të caktuar në skajet e rezistorit, të cilin e tregon voltmetri, lexo intensitetin e rrymës që rrjedh nëpër rezistor dhe që e tregon ampermetri. Të dhënat shënoji në tabelën 1.

Ndryshoje disa herë forcën elektromotore të burimit, duke shtuar elemente galvanike në seri ose duke përdorur potenciometër. Gjatë çdo ndryshimi të forcës elektromotore, lexo vlerat që tregojnë voltmetri dhe ampermetri dhe shënoji në tabelë. Pastaj llogarit herësin e tensionit në skajet e rezistorit me intensitetin e rrymës. Rezultatet e hulumtimit paraqiti në grafik. Në boshtin horizontal paraqit tensionin, ndërsa në boshtin vertikal intensitetin e rrymës. Grafiku i fituar paraqet varësinë: $I = I(U)$, d.m.th. ndryshimin e intensitetit të rrymës gjatë ndryshimit të tensionit në skajet e rezistorit. A është vija e fituar e drejtë apo e lakuar? Nga grafiku përcakto raportin: $\frac{\Delta U}{\Delta I}$. Pastaj, me ommetër mat rezistencën elektrike të rezistorit kur nëpër të nuk rrjedh rrymë dhe krahasojë atë me vlerën mesatare të rezultateve nga kolona e fundit e tabelës.



N	$U(\text{V})$	$I(\text{A})$	$\frac{U}{I} \left(\frac{\text{V}}{\text{A}} \right)$
1.			
2.			
3.			

Tabela 1. Rezultatet e matjeve

LIGJI I OMIT PËR NJË PJESË TË QARKUT ELEKTRIK

Georg Om arriti në përfundimin se, për një pjesë të qarkut elektrik (përçues, rezistor, shpenzues), intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër të është në përpjesëtim të drejtë me tensionin në skajet e saj, përkatësisht:

$$I \sim U.$$

Kjo shprehje tregon se me rritjen e tensionit në skajet e rezistorit rritet edhe intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër atë pjesë të qarkut elektrik. Konstanta e proporcionalitetit varet nga sistemi i zgjedhur i njësive matëse. Në SI, kjo konstante është vlera reciproke e rezistencës elektrike të asaj pjese të qarkut. Në përputhje me këtë, Ligji i Omit për një pjesë të qarkut elektrik mund të shkruhet me formulën:

$$I = \frac{U}{R},$$

ose me fjalë: Intensiteti i rrymës nëpër një pjesë të qarkut elektrik është në përpjesëtim të drejtë me tensionin në skajet e saj. Konstanta e proporcionalitetit përcaktohet nga rezistenca elektrike në atë pjesë të qarkut. Nga ky ligj rrjedh edhe përkufizimi i njësive matëse të rezistencës elektrike. Nga Ligji i Omit rrjedh: $R = \frac{U}{I}$, prandaj $1 \Omega = 1 \frac{V}{A}$. Një përçues ka rezistencë elektrike

prej një omi kur tensioni në skajet e tij është një volt dhe nëpër të rrjedh rrymë me intensitet një amper. Grafiku që vizatove duke përdorur rezultatet e matjeve

në Aktivitetin 1 duhet të jetë vijë e drejtë, përkatësisht i ngjashëm me grafikun në figurën 2. Nëse vija e drejtë zgjatet poshtë, ajo do të kalojë nëpër pikën e fillimit të sistemit koordinativ. Koeficienti i drejtimit

$\frac{\Delta I}{\Delta U}$ është i barabartë me vlerën reciproke të

rezistencës elektrike të rezistorit, përkatësisht

$$: \frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{1}{R}.$$

Varësinë grafike $I = I(U)$ për një element të caktuar të qarkut elektrik (rezistor, shpenzues etj.)

e quajmë karakteristikë volt-amper. Për elementet e qarkut elektrik për të cilat vlen Ligji i Omit, karakteristika volt-amper është vijë e drejtë. Ndërsa për disa elemente, si dioda, llamba e neonit dhe llamba me fije të hollë metalike, karakteristika volt-amper është vijë e lakuar. Kjo tregon se rezistenca e tyre varet nga rënia e tensionit në skajet e tyre.

Pamë se një mënyrë për ta ndryshuar intensitetin e rrymës elektrike në një pjesë të qarkut është ndryshimi i tensionit në atë pjesë. Megjithatë, në disa raste, si në qarqet elektrike të amvisërive, tensioni nuk ndryshon. Parashtrohet pyetja: si mund të ndryshohet intensiteti i rrymës në një përçues ose shpenzues, nëse tensioni në skajet e tij është konstant? Në këtë rast, sipas Ligjit të Omit, mund të ndryshohet rezistenca e përçuesit.

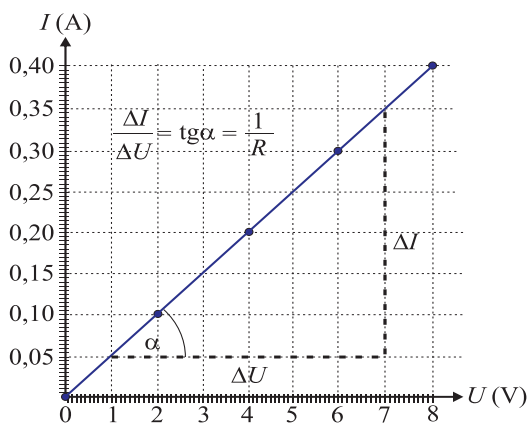


Figura 2. Grafiku i varësisë $I = I(U)$



AKTIVITETI 2.

Mënyra vizuale e paraqitjes së Ligjit të Omit për një pjesë të qarkut elektrik jepet nëpërmjet simulimit interaktiv „Ligji i Omit“ në faqen e internetit <https://phet.colorado.edu/mk/simulations/ohms-law>. Hulumto se si mund të ndryshohet intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër një përçues të caktuar. Në simulim, fillimisht ndrysho rënien e tensionit duke e mbajtur konstante rezistencën elektrike të rezistorit dhe vëzhgo se si



ndryshon intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër të. Pastaj, duke e mbajtur konstante vlerën e tensionit në skajet e rezistorit, ndrysho rezistencën e tij dhe vëre përsëri ndryshimin e intensitetit të rrymës.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1

Një shpenzues me rezistencë 55Ω është lidhur me një burim me tension 24 V .

- Përcakto intensitetin e rrymës nëpër shpenzues.
- Llogarit në çfarë tensioni duhet të lidhet shpenzuesi që nëpër të të rrjedhë rrymë me intensitet 1 A , kur rezistenca mbetet e pandryshuar.

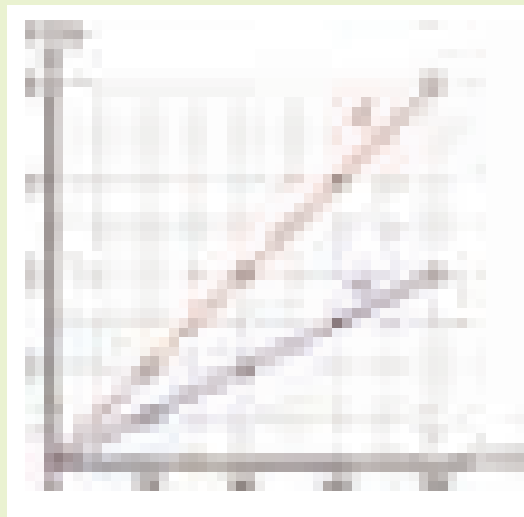
Të dhënat: $R = 55 \Omega$, $U = 24 \text{ V}$, $I_1 = 1 \text{ A}$	Zgjidhja: a) Nga Ligji i Omit për një pjesë të qarkut elektrik për $I = \frac{U}{R}$ intensitetin e rrymës nëpër shpenzues fitohet: $I = 0,44 \text{ A}$. b) Gjithashtu, nga Ligji i Omit rrjedh se $U_1 = I_1 \cdot R = 55 \text{ V}$.
Kërkohet: a) $I - ?$, b) $U_1 - ?$	



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Në grafik janë dhënë karakteristikat volt-ampër të dy shpenzuesve. Përcakto rezistencën e secilit prej tyre.

Të dhënat: grafiku $I = I(U)$ për dy shpenzues.
Kërkohet: $R_1 - ?$ dhe $R_2 - ?$
Zgjidhja: Duke ditur se koeficienti i drejtimit të vijës së drejtë është $\frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{1}{R}$ nga grafiku mund të llogarisim $\frac{\Delta U}{\Delta I} = R$ Nga grafiku i shpenzuesit të parë (grafiku me ngjyrë të kuqe), nëse llogaritet herësi $\frac{\Delta U}{\Delta I}$ fitohet vlera $R_1 = 20 \Omega$. Në të njëjtën mënyrë, për shpenzuesin tjetër fitohet $R_2 = 40 \Omega$.



Ligji i Omit për tërë qarkun elektrik

Rryma që rrjedh në një qark të mbyllur elektrik rrjedh edhe nëpër burimin e rrymës. Burimi është element aktiv që siguron energjinë e nevojshme për të mbajtur ndryshimin e potencialit në skajet e tij (FEM). Në varësi të llojit të burimit, brenda tij një forcë me natyrë joelektrike i bart ngarkesat nga njëri pol i burimit në polin tjetër. Meqenëse ngarkesat brenda burimit kalojnë nëpër një material, kjo lëvizje nuk është pa pengesa. Prandaj, përveç rezistencës në pjesën e jashtme të qarkut elektrik, ekziston edhe **rezistenca e brendshme e burimit**. Ajo është e pranishme te të gjitha elementet galvanike, si bateritë, akumulatorët, gjeneratorët dhe panelet diellore.

Rezistencën e brendshme të burimit e shënojmë me r ndërsa në skemën elektrike e paraqesim me një rezistor të vogël të vendosur pranë burimit, të cilin e konsiderojmë pjesë të burimit, figura 3.

Formula që paraqet shprehjen matematikore të Ligjit të Omit për tërë qarkun elektrik është

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

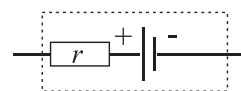


Figura 3. Rezistenca e brendshme e burimit

ku I është intensiteti i rrymës në qark, ε është FEM-ja e burimit, R është rezistenca në pjesën e jashtme të qarkut dhe r është rezistenca e brendshme e burimit. Nëse merret parasysh rezistenca e përgjithshme në qark (e brendshme dhe e jashtme), atëherë intensiteti i rrymës është në përpjesëtim të drejtë me FEM-në e burimit. Konstanta e proporcionalitetit përcaktohet nga vetitë e burimit (rezistenca e tij e brendshme) dhe nga vetitë e komponentëve në pjesën e jashtme të qarkut (rezistenca e elementit pasiv në qark).

Përveçse me ndryshimin e FEM-së së burimit, intensiteti i rrymës në qark mund të ndryshohet edhe duke ndryshuar rezistencën R në pjesën e jashtme të qarkut. Në rrymë ndikon edhe rezistenca e brendshme e burimit. Me rritjen e rezistencës së jashtme, rryma zvogëlohet, por e njëjta gjë ndodh edhe kur rritet rezistenca e brendshme. Është veçanërisht e rëndësishme të dihet se rezistenca e brendshme e baterisë rritet gjatë përdorimit dhe zbrazjes së saj.

Tensioni dhe rënia e tensionit

Kur nëpër qark rrjedh rrymë, një lloj energjie me natyrë joelektrike brenda burimit shndërrohet në energji elektrike dhe në sajë të kësaj energjie, ngarkesat barten nga njëri pol i burimit në polin tjetër. Ndryshimi i potencialit ndërmjet dy poleve të burimit, kur qarku elektrik është i hapur, quhet forcë elektromotore e burimit ose tension i burimit. Kur rryma rrjedh nëpër një element të qarkut, në të cilin energjia elektrike shndërrohet në një formë tjetër energjie, ndryshimin e potencialit ndërmjet skajeve të shpenzuesit e quajmë rënie të tensionit.

Kur themi „tensioni i shpenzuesit“, në të vërtetë mendojmë për rënien e tensionit në atë shpenzues, përkatësisht për ndryshimin e potencialit ndërmjet skajeve të tij. Rënie të tensionit ka edhe brenda burimit të rrymës për shkak të rezistencës së tij të brendshme. Në figurën 4 është paraqitur një qark elektrik, në të cilin me voltmetër matet forca elektromotore e burimit dhe rënia e tensionit në rezistor.

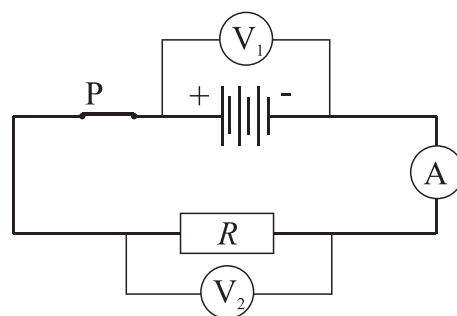


Figura 4. Matja e ndryshimit të potencialit

Spas Ligjit të Omit për tërë qarkun elektrik, nëse rezistenca e jashtme është zero, përkatësisht ekziston lidhje e shkurtër rryma bëhet maksimale dhe vlera e saj mund të llogaritet me formulën:

$$I_{\max} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Në këtë rast, rryma rrjedh vetëm nëpër burim, prandaj gjatë lidhjes së shkurtër rrjedh rryma më e madhe. Kur burimi nuk është i lidhur në qark ose kur ndërprerësi është i hapur (qark i hapur), tensioni ndërmjet poleve të tij është i barabartë me FEM-në e tij, përkatësisht:

$$U_{\varepsilon} = \varepsilon.$$

Kur nëpër burim rrjedh rrymë, tensioni që merr shpenzuesi zvogëlohet për shkak të rezistencës së brendshme r , me ç'rast vlen:

$$U = \varepsilon - Ir.$$

Te një bateri e vjetër ose e përdorur, si burim kimik i rrymës, reagentët harxhohen, përqendrimi i elektrolitit ndryshon, në elektroda krijohen shtresa izoluese etj. Për këtë arsye, rezistenca e brendshme e burimit rritet, ndërsa rënia e tensionit në shpenzues zvogëlohet dhe pajisjet nuk mund të punojnë siç duhet.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Një burim rryme me FEM 12 V dhe rezistencë të brendshme $1,0\ \Omega$ është lidhur me një rezistor me rezistencë $9,0\ \Omega$. Të llogariten:

- Intensiteti i rrymës në qark.
- Rënia e tensionit në pjesën e jashtme të qarkut elektrik.
- Rënia e tensionit në pjesën e brendshme të qarkut (burimi i rrymës).

Të dhënat:

$$\varepsilon = 12\text{ V}, r = 1,0\ \Omega, R = 9,0\ \Omega$$

Kërkohet:

$$\text{a) } I - ?, \text{ b) } U_n - ?, \text{ c) } U_\varepsilon - ?$$

Zgjidhja:

a) Nga Ligji i Omit për tërë qarkun elektrik, intensiteti i rrymës është: $I = 1,2\text{ A}$.

b) Nga shprehja $U_n = I \cdot R$ fitojmë $U_n = 10,8\text{ V}$.

c) Nga shprehja $U_\varepsilon = I \cdot r$ fitojmë $U_\varepsilon = 1,2\text{ V}$.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Një burim i forcës elektromotore me FEM $4,5\text{ V}$ dhe rezistencë të brendshme $0,25\ \Omega$ vihet në lidhje të shkurtër. Të llogaritet intensiteti i rrymës gjatë lidhjes së shkurtër.

Të dhënat:

$$\varepsilon = 4,5\text{ V}, r = 0,25\ \Omega$$

Kërkohet:

$$I_{ks} - ?$$

Zgjidhja:

Nga formula e Ligjit të Omit për tërë qarkun elektrik, intensiteti i rrymës kur $R = 0\ \Omega$ është $I_{ks} = \frac{\varepsilon}{r}$, prej nga llogaritjet japin: $I_{ks} = 18\text{ A}$.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Ekrani rezistiv me prekje është një teknologji e thjeshtë, por shumë praktike që funksionon në bazë të shtypjes dhe ndryshimit të intensitetit të rrymës elektrike në vetë ekranin. Ai përbëhet nga dy shtresa të holla dhe fleksibile, të mbuluara me material rezistiv transparent, të vendosura shumë pranë njëra-tjetrës, por të ndara me hapësira mikroskopike. Në gjendje normale, shtresat nuk preken.

Kur përdoruesi shtyp ekranin me gisht ose me stilolaps, shtresa e sipërme përkulet lehtë dhe e prek shtresën e poshtme. Në çastin kur vendoset kontakti, në atë vend të vogël ndryshon rryma elektrike që rrjedh nëpër sipërfaqen e shtresës rezistive (figura).

Pikërisht këtu zbatohet Ligji i Omit, sepse kontrolluesi e përcakton pikën e prekjës duke matur tensionin dhe rrymën që rrjedh nëpër shtresën rezistive. Çdo pozicion në ekran, gjatë prekjës përgjatë shtresës, ka rezistencë elektrike të ndryshme. Nëpërmjet ndryshimeve të vogla të tensionit dhe intensitetit të rrymës, kontrolluesi llogarit koordinatat e sakta x dhe y të vendit ku janë bashkuar shtresat.

Falë këtij parimi, ekranet rezistive funksionojnë me çdo objekt fizik, si gishti, stilolapsi, madje edhe dorashka. Kjo i bën veçanërisht të dobishme në pajisjet industriale, bankomatet dhe sistemet e navigimit që duhet të punojnë në kushte të ndryshme. Videon edukative mund ta shikoni në lidhjen e mëposhtme.

<https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=how+touch+screen+technology+works+in+physics+explanation&mid=3E44E17E9FEBAC467A543E44E17E9FEBAC467A54&FORM=VIRE>





PYETJE DHE DETYRA

1. Gjatë lidhjes së shkurtër, intensiteti i rrymës në qark ka vlerë të madhe. Nëse rezistenca në pjesën e jashtme të qarkut është zero, shkruaj formulën me të cilën mund të llogaritet intensiteti maksimal i rrymës gjatë lidhjes së shkurtër.
2. Si ndryshon intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër shpenzues, nëse rezistenca e brendshme e burimit rritet?
3. Një ngrohës elektrik është lidhur në tension 125 V dhe nëpër të rrjedh rrymë me intensitet 4 A. Llogarit rezistencën e ngrohësit dhe përcakto intensitetin e rrymës nëse tensioni rritet në 150 V, duke supozuar se rezistenca nuk ndryshon. (Zgjidhja: $R = 31,3 \Omega$, $I_1 = 4,8 \text{ A}$)
4. Llogarit ndryshimin e potencialit në skajet e një teli prej bakri me gjatësi 15 m dhe sipërfaqe të prerjes tërthore 1 mm^2 nëse nëpër tel rrjedh rrymë me intensitet 6 A. Rezistenca specifike e bakrit është $1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m}$. Llogarit tensionin e nevojshëm që nëpër të njëjtin tel të rrjedhë rrymë me intensitet 10 A. (Zgjidhja $U = 1,53 \text{ V}$, $U_1 = 2,55 \text{ V}$)
5. Një bateri me FEM 9 V dhe rezistencë të brendshme $0,8 \Omega$ është lidhur me një shpenzues. Llogarit rezistencën e shpenzuesit, nëse nëpër qark rrjedh rrymë me intensitet 1,5 A. Pastaj llogarit rënien e tensionit në pjesën e jashtme të qarkut. (Zgjidhja: $R = 5,2 \Omega$, $U = 7,8 \text{ V}$)
6. Një bateri me FEM 7,2 V dhe rezistencë të brendshme $0,6 \Omega$ është lidhur me një rezistor me rezistencë $3,4 \Omega$. Llogarit intensitetin e rrymës në qark. Pastaj përcakto tensionin në polet e baterisë gjatë kësaj ngarkese. (Zgjidhja: $I = 1,8 \text{ A}$, $U = 6,12 \text{ V}$)
7. Një burim rryme me FEM 5 V ka rezistencë të brendshme 2Ω . Burimi lidhet me një rezistor, rezistenca e të cilit mund të ndryshohet. Rezistenca vendoset në një vlerë të tillë që tensioni në skajet e rezistorit të jetë 3V. Të llogariten intensiteti i rrymës në qark dhe vlera e rezistencës në këtë rast. (Zgjidhja: $I = 1 \text{ A}$, $R = 3 \Omega$)

1.9. Rregullat e Kirhofit

Qarqet e thjeshta elektrike janë të dobishme për shpjegimin dhe kuptimin e forcës elektromotore të burimit, rënies së tensionit në rezistorë dhe intensitetit të rrymës që rrjedh në qarkun elektrik. Megjithatë, në realitet hasen më shpesh qarqe elektrike të ndërlikuara. Ndërlikimi i tyre rrjedh nga kërkesat praktike në ndërtimtari, elektroteknikë, energjetikë dhe industri, ku nevojiten instalime elektrike të sigurta, nivel i lartë sigurie dhe mundësi për shtimin e shpenzuesve të rinj. Për projektimin dhe analizën e qarqeve elektrike të ndërlikuara, ligjet e Omit për një pjesë dhe për tërë qarkun elektrik nuk janë të mjaftueshme. Prandaj përdoren rregullat e Kirhofit, të cilat janë ndër mjetet më themelore për analizën e qarqeve elektrike. Rregullat e Kirhofit janë pasojë e drejtpërdrejtë e ligjeve më të përgjithshme të ruajtjes në natyrë dhe kanë rol kryesor në fizikë, elektroteknikë, elektronikë, energjetikë, automatikë, robotikë dhe komunikime.

Rregullat e Kirhofit u formuluan nga fizikani gjerman Gustav Robert Kirhof në vitin 1845, ndërsa punonte në një punim seminarik gjatë studimeve. Ai formuloi dy rregulla të pavarura, por të lidhura ndërmjet tyre. Para se t'i shqyrtojmë rregullat e Kirhofit, duhet të kemi parasysh supozimet se telat përçues janë idealë (me rezistencë të papërfillshme krahasuar me rezistencën e shpenzuesve) dhe nëse nuk është theksuar posaçërisht, do të konsiderojmë se burimi i rrymës është ideal, d.m.th. rezistenca e tij e brendshme është zero. Në figurën 1 është dhënë skema e një qarku elektrik të ndërlikuar. Fillimisht t'i shpjegojmë nocionet që përdoren gjatë analizës së një qarku elektrik të ndërlikuar:

- **Nyja** (ose pika nyjore) është vendi ku bashkohen së paku tre përçues. Ajo është pikë me një potencial elektrik të caktuar. Qarku elektrik në figurën 1 ka dy pika nyjore, A dhe B.

- **Dega** është pjesa e qarkut ndërmjet dy nyjeve ose rruga nëpër të cilën rryma lëviz nga njëra nyje në tjetrën. Në një nyje bashkohen së paku tri degë. Në figurën 1 ka tri degë: $AR_2\epsilon_2B$, AR_3B dhe $B\epsilon_1R_1A$.

- **Kontura e mbyllur** është rrugë e mbyllur në qarkun elektrik nëpër të cilën mund të lëvizim dhe të kthehemi në të njëjtën nyje. Çdo konturë e re duhet të përmbajë së paku një degë që nuk u përket konturave të mbyllura të mëparshme. Në qarkun elektrik të figurës 1 ka dy kontura të mbyllura të pavarura: $AR_2\epsilon_2BR_3A$ dhe $AR_3B\epsilon_1R_1A$. Numri i konturave të mbyllura të pavarura (K) në një qark elektrik është i barabartë me numrin e degëve (G), minus numrin e nyjave (J), plus 1: $K = G - J + 1$.

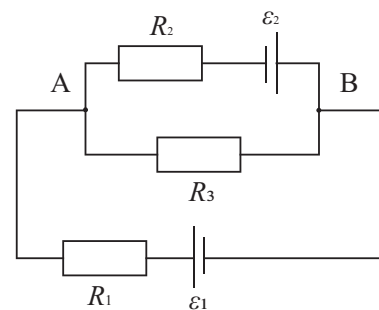


Figura 1. Qark elektrik i ndërlukuar

Rregulla e parë e Kirhofit

Kjo rregull është pasojë e drejtpërdrejtë e Ligjit të ruajtjes së ngarkesës elektrike. Ngarkesa elektrike nuk mund as të krijohet dhe as të zhduket në nyje. Prandaj, aq ngarkesë sa hyn në një nyje të caktuar për njësi të kohës, po aq ngarkesë duhet të dalë nga nyja për njësi të kohës. Kjo rregull zbatohet për një nyje të caktuar dhe njihet edhe si rregulla e rrymave. Sipas saj, shumat algjebrike të intensiteteve të rrymave që hyjnë dhe dalin nga një nyje është e barabartë me zero:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0,$$

ku I_i është intensiteti i secilës rrymë që hyn ose del nga e njëjta nyje, nëse në nyje hyjnë ose dalin gjithsej n rryma. Rrymat që hyjnë në një nyje të caktuar i marrim me shenjën plus, ndërsa ato që dalin nga e njëjta nyje me shenjën minus. Rregulla e parë e Kirhofit mund të shprehet edhe në këtë mënyrë: **shuma e rrymave që hyjnë në një nyje është e barabartë me shumën e rrymave që dalin nga e njëjta nyje:**

$$\sum I_{\text{hyjnë}} = \sum I_{\text{dalin}}$$

Gjatë analizës së një qarku elektrik, për çdo nyje shkruhet një ekuacion i veçantë sipas Rregullës së parë të Kirhofit. Për shembull, nëse në një nyje hyjnë dy rryma dhe del vetëm një (figura 2a), atëherë vlen: $I_1 + I_2 - I_3 = 0$ ose $I_1 + I_2 = I_3$. Në figurën 2b është dhënë një shembull ku në një nyje hyjnë tri rryma, ndërsa dalin dy..

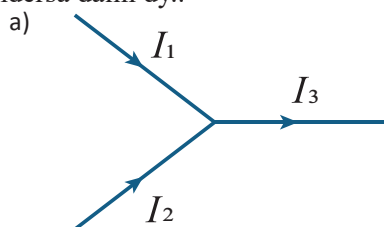
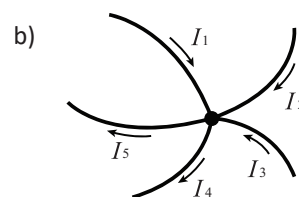


Figura 2. a) Nyje në të cilën hyjnë dhe dalin gjithsej tri rryma. b) Nyje në të cilën hyjnë dhe dalin gjithsej pesë rryma.



$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

Rregulla e dytë e Kirhofit

Kjo rregull rrjedh nga Ligji i ruajtjes së energjisë dhe zbatohet për një konturë të mbyllur e cila është pjesë e një qarku elektrik të ndërlukuar. Sipas këtij ligji, energjia që sigurojnë burimet e rrymës (element galvanik, bateri, gjenerator etj.) është e barabartë me energjinë që çlirohet në shpenzuesit dhe elementet e tjera të qarkut. Kjo energji zakonisht është termike, mekanike, elektromagnetike ose energji e ruajtur në fusha elektrike dhe magnetike.

Shprehja matematikore e Rregullës së dytë të Kirhofit tregon se shumat algjebrike të të gjitha forcave elektromotore është e barabartë me shumën algjebrike të të gjitha rënieve të tensionit përgjatë çdo konture të mbyllur të qarkut elektrik:

$$\sum_i \epsilon_i = \sum_i I_i R_i$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

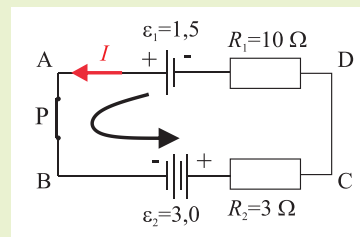
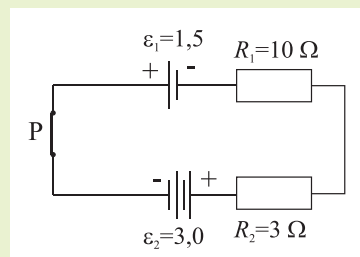
Llogarit intensitetin e rrymës që rrjedh nëpër qarkun e paraqitur në figurë.

Zgjidhja: Në qark nuk ka degëzim të rrymës, d.m.th. nuk ka pikë nyjore. Si kah arbitrar të përshkimit të konturës marrim kahjen ABCDA, që është e kundërt me kahjen e lëvizjes së akrepave të orës. Si kahje të rrymës marrim të njëjtën kahje sipas së cilës e përshkojmë konturën. Rregulla e dytë e Kirhofit për konturën e dhënë është:

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = IR_1 + IR_2,$$

prej nga për intensitetin e rrymës fitojmë

$$I = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{R_1 + R_2} = 0,35 \text{ A}$$



Anëtarët e shumës algjebrike në të dyja anët e ekuacionit mund të kenë shenjë pozitive ose negative. Për të siguruar njëtrajshmëri dhe qartësi gjatë analizës së një qarku elektrik, janë përcaktuar këto hapa për zbatimin e Rregullës së dytë të Kirhofit:

- Në skemën e qarkut elektrik shënojmë të gjitha madhësitë e njohura dhe të panjohura.
- Për çdo rrymë që rrjedh nëpër degët e qarkut përcaktojmë një kah arbitrar, duke u mbështetur në intuitën dhe njohuritë tona për rrymat dhe tensionet.
- Për çdo konturë të pavarur përcaktojmë një kah arbitrar të përshkimit të saj, në kahjen e lëvizjes së akrepave të orës ose në kahjen e kundërt.
- Gjatë shkrimit të shprehjes matematikore të Rregullës së dytë të Kirhofit për një konturë të caktuar, FEM-ja ka shenjë plus nëse gjatë përshkimit të konturës hasim fillimisht polin negativ dhe pastaj polin pozitiv të burimit. FEM-ja ka shenjë negative nëse hasim fillimisht polin pozitiv dhe pastaj polin negativ të burimit.
- Gjithashtu, një rënie e caktuar e tensionit në ekuacion ka shenjë plus nëse kahu arbitrar i përshkimit të konturës është i njëjtë me kahun arbitrar të rrymës nëpër atë shpenzues. Nëse këto dy kahje janë të kundërta, atëherë rënia e tensionit ka shenjë minus.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Shkruaj shprehjet matematikore të Rregullës së parë dhe të Rregullës së dytë të Kirhofit për qarkun elektrik të dhënë në figurë.

Zgjidhja: Fillimisht përcaktojmë një kah arbitrar të përshkimit të konturave. Në rastin konkret, për të dyja konturat kahjet janë marrë në kahje të kundërt me lëvizjen e akrepave të orës. Pastaj përcaktojmë kahjen e rrjedhjes së rrymave në secilën degë.

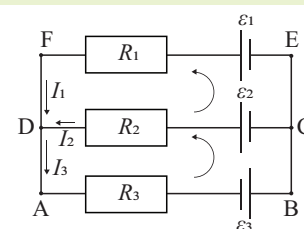
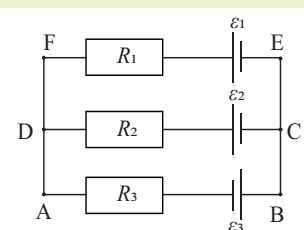
Për nyjën në pikën D shkruajmë Rregullën e parë të Kirhofit:

$$I_1 + I_2 = I_3.$$

Rregulla e dytë e Kirhofit për secilën nga konturat është:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I_1 R_1 - I_2 R_2 \text{ për konturën DCEFD dhe:}$$

$$\varepsilon_3 + \varepsilon_2 = I_3 R_3 + I_2 R_2 \text{ për konturën ABCDA.}$$



Rregullat e Kirhofit mundësojnë analizën e qarqeve elektrike të ndërlikuara, në të cilat ka disa burime dhe disa shpenzues. Zbatimi i kombinuar i të dyja rregullave jep një sistem ekuacionesh algjebrike lineare që përshkruajnë qarkun elektrik. Për zgjidhjen e sistemit nevojiten aq ekuacione të pavarura sa ka madhësi të panjohura në to. Zgjidhja e sistemit jep vlerat e madhësive të panjohura, si intensiteti i rrymës në degë, rezistenca e brendshme e burimeve, forca elektromotore e burimeve etj.

Nëse gjatë zgjidhjes së sistemit të ekuacioneve për një intensitet të dhënë të rrymës fitojmë vlerë negative, kjo do të thotë se në qarkun real elektrik kahja e asaj rryme është e kundërt me kahjen e zgjedhur në mënyrë arbitrare. Nëse fitojmë vlerë negative për një FEM të dhënë, atëherë polariteti i burimit në qarkun real është i kundërt ose ai nuk punon si burim, por si shpenzues. Shembull real do të ishte mbushja e një baterie ose e një akumulatori.



SHSEMBULL I ZGJIDHUR 3

Llogarit intensitetin e rrymës nëpër secilën degë të qarkut në figurën 1, nëse $\varepsilon_1 = 12 \text{ V}$, $\varepsilon_2 = 6 \text{ V}$, $R_1 = 10 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$ dhe $R_3 = 2 \Omega$. Shkruaj formulën matematikore të Rregullës së dytë të Kirhofit nëse burimi i FEM-së i shënuar me ε_1 ka rezistencë të brendshme r .

Zgjidhja: Në figurën 3a, përveç simboleve të elementeve të qarkut, janë dhënë kahjet arbitrare të supozuara të rrymave për tri degët e qarkut. Për pikën nyjore A, Rregulla e parë e Kirhofit mund të shkruhet:

$$I_1 = I_2 + I_3, \quad (1)$$

Në figurën 3b është dhënë kahu arbitrar i zgjedhur për përshkrimin e konturave. Rregulla e dytë e Kirhofit për konturat $AR_2\varepsilon_2BR_3A$ dhe $AR_3\varepsilon_1R_1A$ është:

$$\varepsilon_2 = -I_3R_3 + I_2R_2, \quad (2)$$

$$\varepsilon_1 = I_1R_1 + I_3R_3. \quad (3)$$

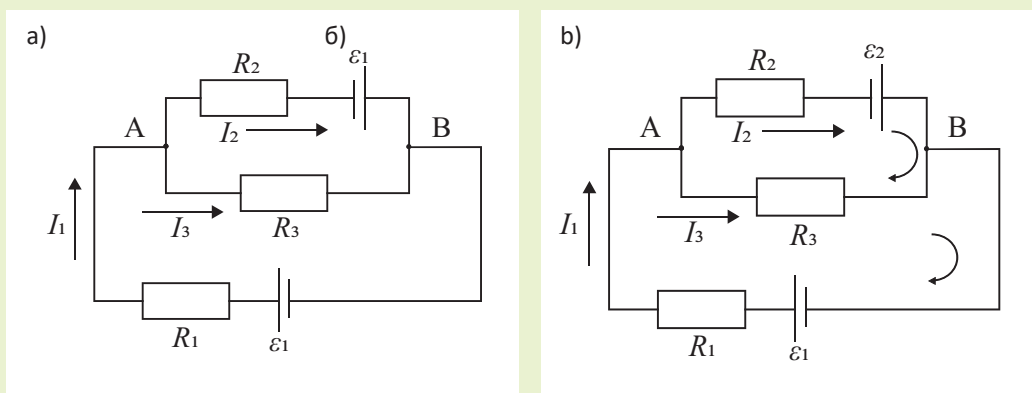


Figura 3. a) Qark elektrik me kahje arbitrare të rrymave.
b) Qark elektrik me kah arbitrar të përshkimit të konturave

Ekuacionet (1), (2) dhe (3) paraqesin një sistem prej tri ekuacionesh me tri të panjohura. Me zgjidhjen e tyre gjejmë intensitetin e rrymës nëpër secilën degë, me ç'rast fitojmë: $I_1 = 1,24 \text{ A}$, $I_2 = 1,41 \text{ A}$, $I_3 = -0,18 \text{ A}$. Vlera negative e intensitetit të rrymës I_3 tregon se rryma rrjedh në kah të kundërt me kahjen e supozuar.

Nëse burimi i FEM-së ε_1 ka rezistencë të brendshme r , atëherë ekuacioni (3) do të jetë:
 $\varepsilon_1 = I_1R_1 + I_3R_3 + I_1r$.

Gjatë shqyrtimit të një rasti të tillë me rezistencë të brendshme të burimit, në anën e djathtë të shprehjes së Rregullës së dytë të Kirhofit duhet të shtohet edhe një anëtar për rënien e tensionit në burim, në rastin e përgjithshëm $I \cdot r$, ku I është intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër burimin e FEM-së.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Zbatimi i rregullave të Kirhovit në instalimet dhe pajisjet elektrike shtëpiake është shumë më i gjerë nga sa duket në shikim të parë. Edhe pse përdoruesi zakonisht „sheh“ vetëm prizat, ndërprerësit dhe pajisjet, pas funksionimit të tyre të sigurt dhe të rregullt qëndrojnë projektimi, planifikimi dhe analiza që përfshijnë ligjet e Omit dhe rregullat e Kirhovit. Për të gjitha kutitë shpërndarëse, prizat, materialet, llojet e përqesve dhe pajisjet bëhen projektimi, përzgjedhja e materialeve, llogaritjet e sigurisë, testimi dhe mirëmbajtja. Nëse projektuesit, inxhinierët dhe elektrikistët nuk i respektojnë rregullat dhe ligjet, ekziston rreziku i mbingarkesës elektrike, mbinxehjes, ndërprerjeve në rrjet, humbjeve të energjisë, zjarrit dhe dukurive të tjera të padëshiruara.

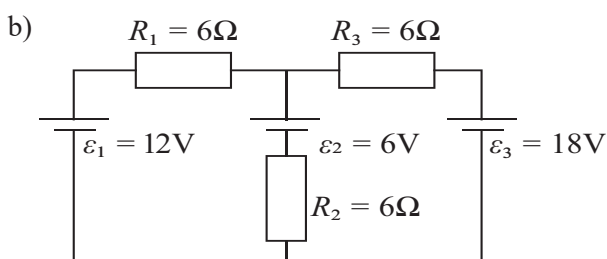
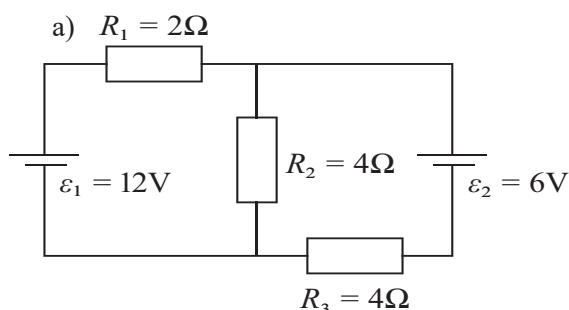
Rregullat e Kirhovit paraqesin një urë ndërmjet fizikës themelore dhe elektroteknikës praktike. Ato tregojnë rëndësinë dhe fuqinë e ligjeve të ruajtjes dhe zbatimin e tyre në sistemet reale. Rregullat e Kirhovit janë bazë për analizën e rrjeteve elektrike të ndërlikuara, projektimin e sistemeve elektroenergjetike dhe llogaritjen e intensiteteve të rrymave dhe tensioneve në instalimet industriale. Duke përdorur analogjinë, shumë procese në natyrë mund të modelohen nëpërmjet rregullave të Kirhovit. Këtu para së gjithash mendohet për lëvizjet termike, proceset në dinamikën e fluideve, rrjetet dhe modelet e rrjeteve në fizikën statistikore, rrjetet nervore dhe modelet tjera në biofizikë.

Edhe pse rregullat e Kirhovit janë shumë të përgjithshme, ato nuk janë absolutisht universale dhe nuk zbatohen pa kufizime në të gjitha kushtet. Ato vlejnë për qarqet elektrike në të cilat ndryshimet e rrymës dhe të tensionit janë relativisht të ngadalta. Nuk vlejnë për qarqet me rryma me frekuencë të lartë, si ato në teknikën e mikrovalëve, në rastet kur në qark shfaqen fusha magnetike të ndryshueshme, në sistemet e transmetimit të energjisë elektrike etj. Analiza e qarqeve elektrike dhe zbatimi i rregullave të Kirhovit në raste të tilla përfshijnë korrigjime të caktuara në llogaritje.



PYETJE DHE DETYRA

1. Cili është ndryshimi ndërmjet qarqeve elektrike të thjeshta dhe të ndërlikuara?
2. Cilat janë nocionet themelore të një qark elektrik i ndërlikuar dhe cilat prej tyre janë të rëndësishme për analizën e tij?
3. Nga cilat ligje themelore të natyrës janë nxjerrë rregullat e Kirhovit?
4. Shkruaj shprehjet matematikore të rregullave të Kirhovit dhe shprehi ato me fjalë.
5. Përcakto intensitetin e rrymës nëpër tri degët e qarqeve të paraqitura në figura.



(Zgjidhja: a) 2,25 A; 1,875 A; 0,375 A; b) 0 A; 1 A; 1 A

1.10. Lidhja e rezistorëve

Gjatë analizës së qarqeve elektrike në të cilat janë lidhur disa rezistorë, intensiteti i rrymës, tensioni dhe rezistenca përcaktohen duke zbatuar ligjet e Omit dhe rregullat e Kirhofit. Çdo qark elektrik të ndërlikuar mund ta thjeshtojmë duke zëvendësuar disa rezistorë me një rezistor, rezistenca e të cilit është ekuivalente me rezistencën e rezistorëve të zëvendësuar, përkatësisht ka të njëjtën vlerë me rezistencën e këtyre rezistorëve. Rezistenca ekuivalente është rezistenca e një rezistori të vetëm, i cili mund të zëvendësojë dy ose më shumë rezistorë. Qarku i thjeshtuar, në të cilin është lidhur rezistori me rezistencë ekuivalente, funksionon njësoj si qarku më i ndërlikuar, në të cilin janë lidhur disa rezistorë. Kur FEM-ja e burimit është e njëjtë, nëpër qarkun e thjeshtuar rrjedh rrymë me të njëjtin intensitet si nëpër qarkun e ndërlikuar.

Të gjitha qarqet elektrike, qoftë në instalimet elektrike, qarqet elektronike ose qarqet e pajisjeve elektrike janë kombinim i lidhjes në seri dhe lidhjes paralele të elementeve të qarkut. Njohja e lidhjes në seri dhe lidhjes paralele të rezistorëve (shpenzuesve) mundëson të kuptohet mënyra e shpërndarjes së rrymës, rënies së tensionit dhe energjisë në elementet e qarkut elektrik. Prandaj do t'i studiojmë dy mënyrat themelore të lidhjes së rezistorëve: lidhjen në seri dhe lidhjen paralele. Mënyra e lidhjes përcakton intensitetin e rrymës që kalon nëpër ta, si dhe rënien e tensionit në skajet e rezistorëve. Përfundimet për lidhjen e rezistorëve vlejné edhe për lidhjen e shpenzuesve.

Lidhja në seri (varg) e rezistorëve

Lidhja në seri e rezistorëve do të thotë që ata të renditen në varg. Në këtë rast, rryma në qark nuk degëzohet dhe nëpër të gjithë rezistorët rrjedh rrymë me të njëjtin intensitet. Për shembull, për dy rezistorë të lidhur në seri, siç është paraqitur në figurën 1, mund të shkruajmë:

$$I_1 = I_2 = I.$$

Ky përfundim është pasojë e Ligjit të ruajtjes së ngarkesës, i cili thotë se ngarkesa nuk mund të grumbullohet ose të zhduket në një pikë të qarkut. Prandaj, e njëjta ngarkesë që hyn në një rezistor për njësi të kohës duhet edhe të dalë nga ai rezistor për njësi të kohës.

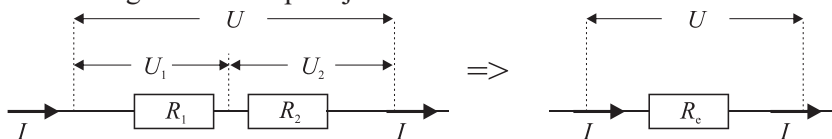


Figura 1. Rezistorët e lidhur në seri zëvendësohen me një rezistor me rezistencë ekuivalente

Sipas Rregullës së dytë të Kirhofit, shuma e rënieve të tensionit në të gjithë rezistorët e lidhur në seri (U_1 dhe U_2 figura 1) duhet të jetë e barabartë me rënien e përgjithshme të tensionit në skajet e këtyre rezistorëve (U):

$$U = U_1 + U_2.$$

Nëse zbatojmë Ligjin e Omit për një pjesë të qarkut elektrik, përkatësisht nëse llogarisim rëniet e tensionit në secilin rezistor dhe rënien e tensionit në rezistorin ekuivalent ($U_i = IR_i$), fitojmë

$$IR_e = IR_1 + IR_2,$$

prej nga, pas pjesëtimit të gjithë shprehjes me intensitetin e rrymës në qark, fitojmë:

$$R_e = R_1 + R_2.$$

Kjo është formula për llogaritjen e rezistencës ekuivalente të dy rezistorëve të lidhur në seri. Në rastin e përgjithshëm mund të shkruajmë:

$$R_e = \sum_{i=1}^n R_i$$

Kjo do të thotë se rezistenca ekuivalente e rezistorëve të lidhur në seri është e barabartë me shumën e rezistencave të secilit rezistor. Rezistenca ekuivalente e rezistorëve të lidhur në seri është më e madhe edhe se rezistenca më e madhe në varg.

Sipas Ligjit të parë të Omit ($U_i = IR_i$), rezistori me rezistencë më të madhe ka rënie më të madhe të tensionit. Çdo shtim i një rezistori në lidhjen në seri, e rrit rezistencën ekuivalente dhe me këtë e zvogëlon intensitetin e rrymës në qark:

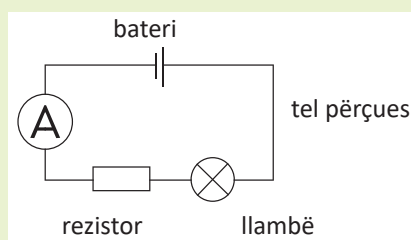
$$I = \frac{U}{R_e}$$

Për shembull, nëse dy llamba lidhen në seri, rezistenca e përgjithshme rritet dhe intensiteti i rrymës zvogëlohet. Prandaj, ato do të ndriçojnë më dobët sesa kur është lidhur vetëm një llambë. Te lidhja në seri e rezistorëve ose e shpenzuesve, nëse qarku ndërpritet në ndonjë pjesë, atëherë rryma pushon së rrjedhuri në gjithë qarkun.



SHENBULL I ZGJIDHUR 1.

Në qarkun elektrik të paraqitur në figurë janë lidhur në seri një rezistor me rezistencë $10\ \Omega$ dhe një llambë me rezistencë të panjohur. Ampermetri tregon intensitet të rrymës prej $0,4\text{A}$. Nëse tensioni i elementit galvanik është 12V , llogarit rezistencën e llambës. Rezistencën e brendshme të burimit nuk e marrim parasysh, si edhe ndryshimet e rezistencës së llambës të shkaktuara nga temperatura. Ampermetri ka rezistencë të brendshme shumë të vogël, e cila mund të shpërfilllet..



Të dhënat:

$$R_1 = 10\ \Omega,$$

$$I = 0,4\ \text{A},$$

$$U = 12\ \text{V}$$

Kërkohet:

$$R_2 = ?$$

Zgjidhja:

Nga kushtet e detyrës dhe mënyra e lidhjes së rezistorit dhe llambës, rezistenca ekuivalente në qarkun elektrik është $R_e = R_1 + R_2$. Tensioni i burimit është $U = I \cdot R_e$, përkatësisht $U = I \cdot (R_1 + R_2)$ që paraqet një ekuacion me një të panjohur. Nëse prej tij shprehet rezistenca e panjohur e llambës, fitojmë $R_2 = \frac{U}{I} - R_1$. Pas zëvendësimit të vlerave të njohura, për rezistencën e llambës fitojmë $R_2 = 20\ \Omega$.

Lidhja paralele e rezistorëve

Te lidhja paralele, të gjithë rezistorët janë të lidhur ndërmjet të njëjtave dy pika (nyje) të qarkut elektrik, përkatësisht skajet e tyre janë të lidhura drejtpërdrejt me polet e burimit. Për këtë arsye, ndryshimi i potencialit, përkatësisht tensioni ndërmjet skajeve të secilit rezistor, është i njëjtë dhe i barabartë me tensionin e burimit:

$$U_1 = U_2 = U.$$

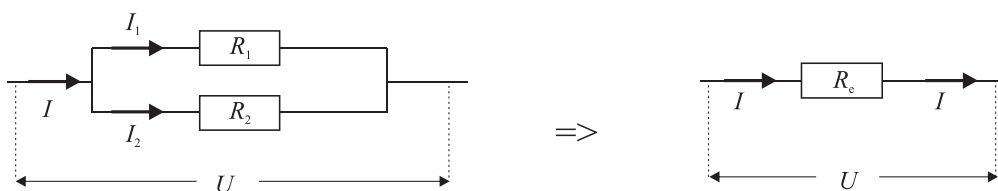


Figura 2. Rezistorët e lidhur paralelisht zëvendësohen me një rezistor me rezistencë ekuivalente

Nëse në qark ka lidhje paralele, atëherë rryma degëzohet, figura 2. Në secilën degë të qarkut, intensiteti i rrymës varet nga rezistenca në degën përkatëse, me ç'rast vlen Rregulla e parë e Kirhofit :

$$I = I_1 + I_2 .$$

Sipas Ligjit të Omit për një pjesë të qarkut elektrik $I_i = \frac{U}{R_i}$, rrjedh se nëpër degët me rezistencë më të

vogël do të kalojë rrymë me intensitet më të madh. Duke e zëvendësuar këtë formulë në formulën e rrymave, fitojmë:

$$\frac{U}{R_e} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} .$$

Nëse të dyja anët e kësaj formule i pjesëtojmë me tensionin, fitojmë:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Kjo formulë e lidh rezistencën ekuivalente të dy rezistorëve të lidhur paralelisht me rezistencat e tyre. Në rastin e përgjithshëm, për rezistorët e lidhur paralelisht mund të shkruajmë:

$$\frac{1}{R_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} ,$$

sipas kësaj, vlera reciproke e rezistencës ekuivalente të rezistorëve të lidhur paralelisht është e barabartë me shumën e vlerave reciproke të rezistencave të veçanta. Për dy rezistorë të lidhur paralelisht, rezistenca ekuivalente është:

$$R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} .$$

Te lidhja paralele e rezistorëve, rezistenca ekuivalente është gjithmonë më e vogël edhe se rezistenca më e vogël e përfshirë në lidhjen paralele. Shtimi i një dege të re paralele e zvogëlon rezistencën ekuivalente, që do të thotë se e rrit intensitetin e rrymës që rrjedh nëpër pjesën e padegëzuar të qarkut.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Në një qark elektrik, siç është paraqitur në figurën 2, intensiteti i rrymës në pjesën e padegëzuar të qarkut është 12 A. Në degën e parë është lidhur një rezistor me rezistencë 3 Ω, ndërsa në degën e dytë një rezistor me rezistencë 9 Ω. Përcakto::

- rezistencën ekuivalente në qark;
- tensionin e burimit;
- intensitetin e rrymës që rrjedh

Të dhënat

$$I = 12 \text{ A} ,$$

$$R_1 = 3 \Omega ,$$

$$R_2 = 9 \Omega$$

Kërkohet:

$$R_e - ? , U - ? ,$$

$$I_2 - ? , I_2 - ?$$

zgjidhje:

a) Për dy rezistorë të lidhur paralelisht, rezistenca ekuivalente është $R_e = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

Duke zëvendësuar vlerat e rezistencave, fitojmë $R_e = 2,25 \Omega$.

b) Nëse është i njohur intensiteti i rrymës në pjesën e padegëzuar të qarkut, atëherë tensioni i burimit është $U = I \cdot R_e$. Duke zëvendësuar vlerat numerike, fitojmë $U = 27 \text{ V}$.

c) Intensiteti i rrymës në secilën degë llogaritet me ndihmën e Ligjit të Omit për një pjesë të qarkut elektrik $I_i = \frac{U}{R_i}$. Duke zëvendësuar vlerat, fitojmë $I_1 = 9 \text{ A}$ dhe $I_2 = 3 \text{ A}$.

Lidhja e ampermetrit në qarkun elektrik

Ampermetri është instrument matës që shërben për matjen e intensitetit të rrymës elektrike në qark ose në një pjesë të degëzuar të tij. Për ta matur saktë intensitetin e rrymës, ampermetri duhet të lidhet në mënyrë që e gjithë rryma e degës së zgjedhur të kalojë nëpër të.

Ampermetri lidhet gjithmonë në seri (varg), në mënyrë që e gjithë rryma që kalon nëpër atë degë të kalojë edhe nëpër ampermetër.

Ampermetri është ndërtuar në mënyrë të tillë që të ketë rezistencë të brendshme shumë të vogël. Kjo është e rëndësishme sepse instrumenti matës nuk duhet të ndikojë në matjen e intensitetit të rrymës në qark. Nëse ampermetri do të kishte rezistencë të madhe, ai do të paraqiste një rezistor shtesë në qark dhe do të ndikonte në intensitetin e rrymës në qark.

Lidhja e voltmetrit në qarkun elektrik

Voltmetri përdoret për matjen e ndryshimit të potencialit elektrik (tensionit) ndërmjet dy pikave të qarkut. Për ta matur ndryshimin ndërmjet potencialeve në dy skajet e një rezistori, shpenzuesi ose burimi të rrymës, voltmetri duhet të lidhet në mënyrë që t'i „bashkojë“ këto dy pika. Prandaj, **voltmetri lidhet gjithmonë paralelisht me elementin e qarkut, rënien e tensionit të të cilit e mat.** Voltmetri ka rezistencë të brendshme shumë të madhe. Sipas Ligjit të Omit për një pjesë të qarkut elektrik, në këtë mënyrë nëpër të do të rrjedhë rrymë me intensitet shumë të vogël, e cila zakonisht mund të shpërfilllet.



AKTIVITETI 1.

Me ndihmën e simulimit interaktiv, lidh elementet në një qark elektrik virtual („Circuit Construction Kit: DC - Virtual Lab“) <https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-dc-virtual-lab> Hulumto lidhjen në seri dhe lidhjen paralele të rezistorëve dhe shpenzuesve (llambave). Në qark lidh edhe ampermetrin dhe voltmetrin. Me ndihmën e ligjeve të Omit, llogarit rezistencën e një rezistori/shpenzuesi të dhënë. Pastaj përsërite të njëjtën procedurë për dy rezistorë/shpenzues të lidhur në seri, përkatësisht për dy të lidhur paralelisht, ose hulumto një lidhje të kombinuar që përfshin lidhjen në seri dhe lidhjen paralele



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Në tharësen elektrike të flokëve ka një ngrohës të përbërë nga një tel metalik me rezistencë specifike të madhe dhe një motor elektrik që rrotullon ventilatorin. Për të mundur dy mënyra pune (1 dhe 2), tharësja përdor një kombinim të lidhjes në seri dhe lidhjes paralele të pjesëve të ndryshme të telit ngrohës. Në mënyrën 1, rryma kalon nëpër një gjatësi efektive më të madhe të ngrohësit, që do të thotë rezistencë e përgjithshme më e madhe. Rezistenca më e madhe e zvogëlon intensitetin e rrymës dhe ngrohësi prodhon më pak nxehtësi. Në mënyrën 2, një pjesë e telit anashkalohet nëpërmjet një dege paralele, duke e zvogëluar rezistencën e përgjithshme elektrike në qark. Kjo mundëson rrjedhjen e rrymës me intensitet më të madh dhe ngrohësi nxehet shumë më tepër.



PYETJE DHE DETYRA

1. Shpjego pse gjatë lidhjes paralele të rezistorëve ose të shpenzuesve tensioni në të gjitha degët është i njëjtë.
2. Për dy rezistorë të lidhur paralelisht, rezistencën ekuivalente e llogarisim sipas formulës

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

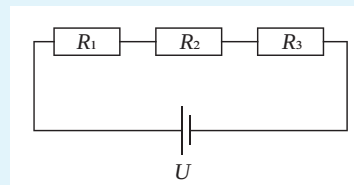
Shkruaj formulën me të cilën mund të llogaritet rezistenca ekuivalente e tre rezistorëve të lidhur paralelisht. Rezistencat e rezistorëve janë R_1 , R_2 dhe R_3 .

3. Si shpërndahet rryma nëpër degë gjatë lidhjes paralele të rezistorëve?
4. Shpjego se si ndryshimi i vlerës së një rezistori në lidhjen paralele ndikon në rrymën e përgjithshme të burimit.

5. Në qarkun elektrik të paraqitur në vizatim, rezistorët kanë vlera $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 4 \Omega$ dhe $R_3 = 6 \Omega$. Tensioni në skajet e burimit është $U = 18 \text{ V}$, ndërsa rezistenca e brendshme e burimit është shumë e vogël dhe mund të shpërfilllet. Llogarit:

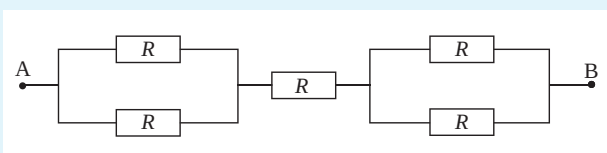
- a) rezistencën ekuivalente të qarkut;
- b) intensitetin e rrymës që rrjedh nëpër qark;
- c) rënien e tensionit në secilin rezistor.

(Zgjidhja: $R_e = 12 \Omega$, $I = 1,5 \text{ A}$, $U_1 = 3 \text{ V}$, $U_2 = 6 \text{ V}$, $U_3 = 9 \text{ V}$)



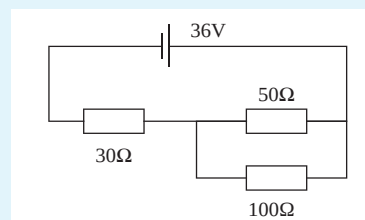
6. Sa është rezistenca ekuivalente e rezistorëve të lidhur në mënyrë të kombinuar ndërmjet pikave A dhe B, nëse të gjithë rezistorët kanë të njëjtën rezistencë $R = 23 \Omega$?

(Zgjidhja: 46Ω)



7. Tre rezistorë janë lidhur në një qark elektrik, siç është paraqitur në figurë. Sa është intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër secilin rezistor dhe sa është rënia e tensionit në secilin prej tyre? Rezistenca e brendshme e burimit të shpërfilllet.

(Zgjidhja: $I_1 = 0,57 \text{ A}$, $I_2 = 0,38 \text{ A}$, $I_3 = 0,19 \text{ A}$, $U_1 = 17 \text{ V}$, $U_2 = U_3 = 19 \text{ V}$)



1.11. Lidhja e kondensatorëve

Në mësimin 1.5 u njohëm me kondensatorët dhe me mundësinë e tyre për të ruajtur ngarkesë. Më tej, mësuam se pllakat janë të elektrizuara me ngarkesa me shenja të kundërta dhe se në hapësirën ndërmjet tyre krijohet një fushë elektrike. Gjithashtu, shqyrtuam lidhjen ndërmjet ngarkesës së kondensatorit, tensionit ndërmjet pllakave të tij dhe kapacitetit të kondensatorit.

Kur një kondensator lidhet me një burim të rrymës njëkahëshe, në qarkun elektrik rrjedh rrymë gjatë një intervali kohor shumë të shkurtër. Gjatë kësaj kohe, elektronet lëvizin vetëm nëpër burim dhe përçues, por jo nëpër vetë kondensatorin, sepse ndërmjet pllakave ndodhet një dielektrik që nuk lejon kalimin e rrymës elektrike. Pllaka e lidhur me polin negativ të burimit të FEM-së merr elektrone dhe elektrizohet negativisht. Njëkohësisht, elektronet nga pllaka e lidhur me polin pozitiv të burimit të FEM-së lëvizin drejt elektrodës pozitive të burimit. Si rezultat, kjo pllakë, së cilës i mungojnë elektronet, elektrizohet pozitivisht. Në hapësirën ndërmjet pllakave krijohet një fushë elektrike. Ngarkimi i kondensatorit vazhdon derisa tensioni ndërmjet pllakave të barazohet me tensionin e burimit, pas së cilës rryma ndërpritet plotësisht dhe themi se kondensatori është i ngarkuar.

Në një qark elektrik me kondensator dhe burim të rrymës njëkahëshe, rryma rrjedh vetëm gjatë ngarkimit të kondensatorit. Gjatë kësaj kohe, në fushën elektrike që krijohet ndërmjet pllakave të tij grumbullohet energji. Kjo energji mund të çlirohet më pas, proces të cilin e quajmë shkarkim të kondensatorit.

Për shembull, kondensatori në pajisjen e blicit të aparatit fotografik ngarkohet relativisht ngadalë dhe pastaj e çliron energjinë e ruajtur brenda një kohe shumë të shkurtër, duke krijuar një impuls të fuqishëm drite, të cilin bateria nuk do të mund ta siguronte vetë aq shpejt. Ky është vetëm një nga shembujt e shumë të zbatimit të kondensatorëve. Kondensatorët kanë rëndësi edhe më të madhe kur në qarkun elektrik lidhen disa prej tyre. **Sistemi i përbërë nga disa kondensatorë të lidhur quhet bateri kondensatorësh.** Në të, shpërndarja e tensionit, ngarkesës dhe sasisë së energjisë së ruajtur varet nga mënyra e lidhjes së kondensatorëve. Kapaciteti i përgjithshëm i baterisë së kondensatorëve, i cili është i barabartë me kapacitetin e një kondensatori të vetëm që mund ta zëvendësojë baterinë, quhet **kapacitet ekuivalent**. Lidhja e disa kondensatorëve në një qark elektrik, ku ka lidhje në seri dhe lidhje paralele, paraqet lidhje të kombinuar.

Lidhja në seri e kondensatorëve

Gjatë lidhjes në seri të kondensatorëve (figura 1), kondensatorët lidhen njëri pas tjetrit, në mënyrë që me burimin të lidhen vetëm dy pllakat e jashtme në skajet e vargut. Ato elektrizohen me ngarkesat $+q$ dhe $-q$. Pllakat e brendshme të kondensatorëve lidhen ndërmjet tyre me përçues dhe elektrizohen me influencë. Rishpërndarja e ngarkesave është e tillë që në secilën pllakë të brendshme, për shkak të mënyrës së elektrizimit, shfaqet e njëjta sasi ngarkese elektrike, por me shenjë të kundërt nga ngarkesa e pllakës fqinje.



Figura 1. Kondensatorët e lidhur në seri zëvendësohen me një kondensator me kapacitet ekuivalent C_e .

Si rezultat, secili kondensator i lidhur në seri ngarkohet me të njëjtën sasi ngarkese elektrike q , pavarësisht nga madhësia e kapacitetit të tij. Për dy kondensatorë me kapacitete C_1 dhe C_2 , të lidhur në seri, vlen formula:

$$q_1 = q_2 = q.$$

Tensioni i përgjithshëm i burimit shpërndahet ndërmjet kondensatorëve:

$$U = U_1 + U_2.$$

Nëse përdorim formulën që lidh tensionin e kondensatorit me sasinë e ngarkesës elektrike në të:

$$U = \frac{q}{C}, \text{ atëherë formula e mëparshme për shpërndarjen e tensionit do të jetë:}$$

$$\frac{q}{C_e} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}.$$

Nëse të dyja anët e kësaj formule i pjesëtojmë me q fitojmë

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Për kapacitetin ekuivalent të n kondensatorëve të lidhur në seri vlen ekuacioni:

$$\frac{1}{C_e} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Nga ekuacioni rrjedh se kapaciteti ekuivalent i kondensatorëve të lidhur në seri është gjithmonë më i vogël se kapaciteti më i vogël individual në varg. Prandaj, kur nevojitet kapacitet më i vogël se ai i një kondensatori, përdoret lidhja në seri. Nëse kemi n kondensatorë të lidhur në seri, secili me kapacitet të njëjtë (C), atëherë vlen ekuacioni:

$$C_e = \frac{C}{n}$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Dy kondensatorë janë lidhur në seri me një burim tensioni prej 150V. Kapaciteti i kondensatorit të parë është 6 μF , ndërsa sasia e ngarkesës elektrike të grumbulluar në të është 720 μC . Përcakto kapacitetin e kondensatorit të dytë.

Të dhënat:

$$U = 150 \text{ V}, C_1 = 6 \mu\text{F},$$

$$q_1 = 720 \mu\text{C}$$

Kërkohet:

$$C_2 = ?$$

Zgjidhja:

Meqenëse kondensatorët janë lidhur në seri, sasia e ngarkesës elektrike në ta është e njëjtë:

$$q_1 = q_2 = q.$$

$$\text{Tensioni në kondensatorin e parë } U_1 = \frac{q}{C_1} = 120 \text{ V}.$$

$$\text{Tensioni në kondensatorin e dytë } U_2 = U - U_1 = 150 \text{ V} - 120 \text{ V} = 30 \text{ V}.$$

$$\text{Kapaciteti i kondensatorit të dytë : } C_2 = \frac{q}{U_2} = \frac{720 \mu\text{C}}{30 \text{ V}} = 24 \text{ F}.$$

Lidhja paralele e kondensatorëve

Te lidhja paralele e kondensatorëve (figura 2), pllakat e majta të secilit kondensator janë në të njëjtin potencial, i cili është i barabartë me potencialin e polit negativ të burimit. E njëjta gjë vlen edhe për pllakat e djathta. Nga kjo rrjedh se tensioni në kondensatorë është i njëjtë dhe i barabartë me tensionin që paraqitet ndërmjet dy poleve të burimit. Përkatesisht:

$$U_1 = U_2 = U.$$

Gjatë lidhjes paralele të kondensatorëve, ngarkesa e përgjithshme shpërndahet në mënyrë të tillë që në kondensatorët me kapacitet më të madh grumbullohet sasi më e madhe ngarkese elektrike dhe anasjelltas, në kondensatorët me kapacitet më të vogël grumbullohet sasi më e vogël ngarkese elektrike. Në përputhje me Ligjin e ruajtjes së ngarkesës elektrike, mund të shkruajmë:

$$q = q_1 + q_2.$$

$$\text{Nëse përdorim formulën: } q = C \cdot U,$$

do të fitojmë ekuacionin:

$$C_e U = C_1 U + C_2 U.$$

Nëse të dyja anët e këtij ekuacioni i pjesëtojmë me tensionin, do të fitojmë:

$$C_e = C_1 + C_2.$$

Në rastin e përgjithshëm, për dy ose më shumë kondensatorë të lidhur paralelisht, vlen shprehja:

$$C_e = \sum_{i=1}^n C_i.$$

Kapaciteti i përgjithshëm i kondensatorëve të lidhur paralelisht është i barabartë me shumën e kapaciteteve të tyre individuale. Prandaj, kur nevojitet kapacitet më i madh se ai që mund të sigurojë një kondensator, përdoret lidhja paralele. Për n kondensatorë të lidhur paralelisht, të cilët kanë kapacitet të njëjtë (C), vlen ekuacioni: $C_e = nC$.

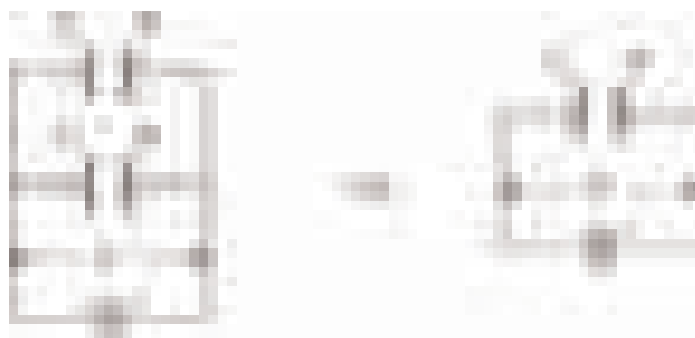


Figura 2. Kondensatorët e lidhur paralelisht zëvendësohen me një kondensator me kapacitet ekuivalent



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një kondensator me pllaka, me kapacitet $4 \mu\text{F}$ në ajër, zhytet vertikalisht në ujë, në mënyrë që një e katërta e sipërfaqes ndërmjet pllakave të ndodhet në ujë, ndërsa pjesa e mbetur në ajër. Konstanta dielektrike relative e ujit është 81. Përcakto kapacitetin e kësaj baterie kondensatorësh.

Të dhënat:

$$C = 4 \mu\text{F}$$

$$S_{\text{ajër}} = \frac{3}{4}S$$

$$S_{\text{ujë}} = \frac{1}{4}S$$

$$\epsilon_r = 81$$

Kërkohet:

$$C_{\text{ek}} - ?$$

Zgjidhja:

Meqenëse një pjesë e kondensatorit ndodhet në ajër, ndërsa pjesa tjetër në ujë,

këto pjesë veprojnë si kondensatorë të lidhur paralelisht.

$$\text{Pjesa në ajër } \left(\frac{3}{4} \text{ e sipërfaqes}\right): C_{\text{ajër}} = \frac{3}{4} \cdot 4 \mu\text{F} = 3 \mu\text{F}.$$

$$\text{pjesa në ujë } \left(\frac{1}{4} \text{ e sipërfaqes}\right): C_{\text{ujë}} = \epsilon_r \cdot \frac{1}{4} \cdot 4 \mu\text{F} = 81 \cdot 1 \mu\text{F} = 81 \mu\text{F}.$$

$$\text{Kapaciteti i përgjithshëm është: } C_e = C_{\text{ajër}} + C_{\text{ujë}} = 3 \mu\text{F} + 81 \mu\text{F} = 84 \mu\text{F}.$$

Roli dhe zbatimi i kondensatorëve në pajisjet elektrike

Praktika ka treguar se në raste të caktuara, bateria e kondensatorëve, në të cilën janë lidhur disa kondensatorë më të vegjël, ka përparësi ndaj një kondensatori të madh që mund ta zëvendësojë atë. Kondensatorët e vegjël prodhohen më lehtë, janë më fleksibilë për kombinim dhe nëse njëri prej tyre prishet, kjo nuk do të thotë domosdoshmërisht se bateria e kondensatorëve do të pushojë së punuari. Meqenëse bateritë e kondensatorëve mund ta grumbullojnë dhe ta çlirojnë shpejt energjinë, ato përdoren në pajisjet ku nevojitet furnizim me impulse, si defibrilatorët dhe laserët. Përveç kësaj, ato kanë edhe zbatime të tjera, si filtrimi i harmonikave, zvogëlimi i interferencave në sistemet elektrike dhe elektronike, zbutja (rrafshimi) dhe stabilizimi i tensionit, si dhe kompensimi i fuqisë reaktive në pajisje të tilla si motorët elektrikë, transformatorët etj.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

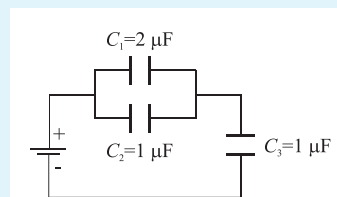
Në automobilat elektrikë përdoret një sistem i quajtur frenim rigjenerues. Gjatë frenimit, motori elektrik punon si gjenerator dhe një pjesë e energjisë kinetike të automobilit shndërrohet në energji elektrike në një pajisje të veçantë. Megjithatë, kjo energji krijohet menjëherë, brenda një intervali kohor shumë të shkurtër ndërsa bateria nuk mund ta pranojë aq shpejt, sepse reaksionet kimike në të zhvillohen me shpejtësi të kufizuar. Prandaj, përveç baterisë, në automobil vendosen kondensatorë të veçantë, të quajtur superkondensatorë të cilët mund të ngarkohen dhe të shkarkohen pothuajse menjëherë. Meqenëse një superkondensator mund të përballojë tension ndërmjet pllakave prej vetëm rreth $2,7\text{V}$, ndërsa sistemet e baterive të automjeteve elektrike punojnë me tensione 300V , 400V , madje edhe 800V , një numër i madh superkondensatorësh lidhen në seri. Në këtë mënyrë, tensioni i baterisë është i barabartë me shumën e tensioneve të secilit superkondensator ndërsa kapaciteti i përgjithshëm zvogëlohet. Pastaj, që sistemi të mund të grumbullojë energji të mjaftueshme dhe të japë rrymë me intensitet më të madh, disa vargje të lidhura në seri lidhen paralelisht, duke e rritur kapacitetin e përgjithshëm të modulit. Në këtë mënyrë, superkondensatorët e pranojnë energjinë e madhe që motori (tani në funksionin e gjeneratorit) krijon gjatë frenimit, e grumbullojnë brenda disa milisekondave dhe më pas ia japin përsëri motorit gjatë përshpejtimit. Ky sistem e rrit efikasitetin e automobilit ndërsa e zvogëlon ngarkesën dhe konsumimin e baterisë.



PYETJE DHE DETYRA

1. Shpjego pse gjatë lidhjes në seri të kondensatorëve kapaciteti i përgjithshëm është më i vogël se kapaciteti i cilitdo kondensator individual?

2. Shpjego pse gjatë lidhjes paralele të kondensatorëve kapaciteti i përgjithshëm është më i madh se secili kapacitet individual.?
3. Në cilat raste në elektronikë është e përshtatshme të përdoret:
 - lidhja në seri e kondensatorëve?
 - lidhja paralele e kondensatorëve?
 - Jep nga një shembull për secilin rast.
4. Shkruaj formulën për llogaritjen e kapacitetit ekuivalent të një baterie kondensatorësh të përbërë nga dy kondensatorë, kur:
 - a) kondensatorët janë lidhur në seri;
 - b) kondensatorët janë lidhur paralelisht.
5. Në figurë është paraqitur një bateri kondensatorësh:
 - a) Llogarit kapacitetin ekuivalent të baterisë së kondensatorëve.
(Zgjidhja: $C_e = 0,75 \mu\text{F}$)
 - b) Përcakto ngarkesën e përgjithshme të baterisë së kondensatorëve, nëse tensioni i burimit është 6V. (Zgjidhja: $q = 4,5 \mu\text{F}$)
6. Një kondensator me kapacitet $3 \mu\text{F}$ është lidhur në tension 90V, ndërsa një kondensator tjetër me kapacitet $6 \mu\text{F}$ është lidhur në tension 45V. Pas ngarkimit dhe shkëputjes së tyre nga burimet, të dy kondensatorët i lidhim paralelisht. Sa do të jetë tensioni i baterisë së kondensatorëve të formuar në këtë mënyrë? (Zgjidhja $U = 60 \text{ V}$)?
7. Një kondensator me kapacitet $10 \mu\text{F}$ është lidhur në tension 200V. Përcakto energjinë e grumbulluar në kondensator. Sa është energjia e përgjithshme, nëse ky kondensator lidhet paralelisht me një kondensator tjetër identik në të njëjtin tension? (Zgjidhja $E_1 = 0,2 \text{ J}$, $E_2 = 0,4 \text{ J}$) ?



1.12. PUNA, ENERGJIA DHE FUQIA E RRYMËS ELEKTRIKE

Puna dhe energjia e rrymës elektrike

Si pasojë e ndryshimit të potencialit elektrik që krijon burimi i rrymës në skajet e përçuesit, elektronet e lira në përçues lëvizin në mënyrë të kahëzuar dhe nëpër përçues rrjedh rrymë elektrike. Për shkak të këtij ndryshimi të potencialit, elektronet në vende të ndryshme të përçuesit kanë energji potenciale elektrike të ndryshme dhe lëvizin në kahjen në të cilin ajo zvogëlohet, ndërsa energjia e tyre kinetike rritet. Elektronet e përshpejtuara gjatë rrugës së tyre përplasen me grimcat nga të cilat përbëhet përçuesi dhe një pjesë e energjisë së tyre kinetike i bartet përçuesit, duke e rritur energjinë e tij të brendshme. Në këtë mënyrë, nëpërmjet lëvizjes së kahëzuar të elektroneve dhe ndryshimit të energjisë së tyre potenciale, realizohet bartja e energjisë elektrike nëpër qarkun elektrik.

Përveç përçuesve të qarkut elektrik, elektronet ua japin këtë energji edhe elementeve të qarkut, përkatësisht shpenzuesve. Gjatë kësaj, energjia elektrike shndërrohet në forma të tjera të energjisë: termike, të dritës, mekanike, kimike etj. Për shembull, te ngrohësit energjia elektrike shndërrohet pothuajse plotësisht në energji termike; te llambat, një pjesë shndërrohet në energji të dritës dhe një pjesë në energji termike; ndërsa te motorët elektrikë, pjesa më e madhe e energjisë shndërrohet në energji mekanike. Prandaj, çdo qark elektrik mund të shqyrtohet si një sistem në të cilin energjia bartet dhe shndërrohet nga një formë në tjetrën.

Puna që kryen rryma elektrike për bartjen e ngarkesës q nga njëri pol i burimit në polin tjetër, nën veprimin e ndryshimit të potencialit U , është e barabartë me:

$$A = qU.$$

Duke pasur parasysh se ngarkesa që kalon nëpër një prerje tërthore të caktuar të përçuesit mund të llogaritet nëpërmjet intensitetit të rrymës që rrjedh në qarkun elektrik:

$$q = I \cdot t,$$

për punën që kryen rryma elektrike, fitojmë:

$$A = U \cdot I \cdot t.$$

Sipas formulës, puna që kryen rryma elektrike varet nga rënia e tensionit në skajet e përçuesit, intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër të dhe koha e rrjedhjes së rrymës. Dimë se njësia themelore matëse e punës është 1 J . Nga ekuacioni rrjedh se $1 \text{ J} = 1 \text{ VAs}$.

Nëpër përçuesit metalikë, elektronet lëvizin me humbje shumë të vogla për shkak të rezistencës së tyre, të cilën mund ta konsiderojmë të vogël. Kjo do të thotë se pjesa më e madhe e energjisë elektrike bartet nga burimi deri te pajisja elektrike ku shndërrohet në punë të dobishme. Kështu, burimi, përçuesit dhe shpenzuesit krijojnë së bashku një cikël të vazhdueshëm të bartjes dhe shndërrimit të energjisë.

Fuqia e rrymës elektrike

Fuqia (P) e rrymës elektrike paraqet punën që kryen energjia elektrike në njësi të kohës, por mund të thuhet se ajo paraqet edhe energjinë që rryma elektrike ia jep shpenzuesit në njësi të kohës:

$$P = \frac{A}{t} = U \cdot I.$$

Shpesh, në komunikimin e përditshëm nuk flitet drejtpërdrejt për „punën e rrymës elektrike“, por për „energjinë elektrike të shpenzuar“. Energjia elektrike që një pajisje e caktuar e shndërron në një formë tjetër energjie është e barabartë me punën që kryen rryma. Edhe pse njësia themelore e energjisë është xhuli, në jetën e përditshme dhe në elektroenergjetikë, përdoret shumë shpesh njësia kilovat-orë (kWh), sepse ajo është më e përshtatshme për shprehjen e sasive më të mëdha të energjisë. Lidhja ndërmjet këtyre njësive është $1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$. Një kilovat-orë tregon sa energji elektrike do të „shpenzojë“ një pajisje me fuqi 1kW, nëse punon pandërprerë për 1 orë. Energjia elektrike e shpenzuar, e cila lexohet në njehsorë (matësit e energjisë elektrike), shprehet pikërisht me këtë njësi (figura 1). Ajo shënohet në faturat e energjisë elektrike. Përdorimi praktik i njësisë kilovat-orë është më i qartë, për shembull: nëse dihet se një familje mesatare shpenzon rreth 300kWh energji elektrike gjatë një muaji, kjo është saktësisht $1\,080\,000\,000 \text{ J}$.



Figura 1. Njehsor për matjen e energjisë elektrike të shpenzuar



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Kur një ngrohës elektrik lidhet me tension prej 220V, fuqia e tij është 2000W.

- Sa është intensiteti i rrymës elektrike që rrjedh nëpër ngrohës?
- Sa është rezistenca e ngrohësit?

Të dhënat:

$$U = 220 \text{ V}, P = 2000 \text{ W}.$$

Kërkohet:

- $I = ?$, b) $R = ?$

Zgjidhja:

a) Për të përcaktuar intensitetin e rrymës që kalon nëpër ngrohës, përdorim formulën e fuqisë elektrike:

$$P = U \cdot I \text{ rrjedh } I = \frac{P}{U} = \frac{2000 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 9,1 \text{ A}.$$

b) Rezistencën e ngrohësit mund ta gjejmë duke përdorur Ligjin e Omit për një pjesë të qarkut elektrik:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220 \text{ V}}{9,1 \text{ A}} = 24,2 \Omega$$

Koeficienti i veprimit të dobishëm

Në çdo pajisje elektrike bëhet shndërrimi i energjisë elektrike në forma të tjera të energjisë: të dritës, termike, mekanike, të zërit etj. Megjithatë, asnjë pajisje nuk mund ta shndërrojë të gjithë energjinë elektrike të marrë në punë të dobishme. Në çdo pajisje, një pjesë e energjisë elektrike humbet në mjedis, më së shpeshti në formë të nxehtësisë. Prandaj, përdoret madhësia e quajtur **koeficienti i veprimit të dobishëm**, e cila tregon se sa pjesë e energjisë së përgjithshme të marrë shndërrohet në energji të dobishme.

Koeficienti i veprimit të dobishëm shënohet me η (lexohet: „eta“) dhe përcaktohet me raportin::

$$\eta = \frac{E_k}{E_{vk}}.$$

ku E_k shënohet energjia e shndërruar në punë të dobishme ose në një formë tjetër të dëshiruar të energjisë, ndërsa me E_{vk} energjia e përgjithshme. Për çdo pajisje ose makinë, koeficienti i veprimit të dobishëm ka vlerë më të vogël se një. Nëse ekuacionin e shumëzojmë me 100, vlerën e η e fitojmë në përqindje::

$$\eta = \frac{E_k}{E_{vk}} \cdot 100 \%.$$

Nëse një pajisje elektrike ka koeficient të veprimit të dobishëm prej 80%, kjo do të thotë se 80% e energjisë elektrike të dhënë shndërrohet në punë të dobishme, ndërsa 20% e mbetur humbet, më së shpeshti në formë të nxehtësisë.

Ligji i Xhul–Lencit

Kur elektronet e lira lëvizin nëpër një përçues që ka rezistencë të madhe elektrike, ato përplasen më shpesh me jonet e rrejtës kristalore. Gjatë çdo përplasjeje, një pjesë e energjisë së elektroneve shndërrohet në energji të brendshme të materialit, duke shkaktuar nxehtjen e tij. Pikërisht mbi këtë parim punojnë ngrohësit elektrikë, llambat me fije metalike, hekurat, ngrohësit e ujit dhe shumë pajisje të tjera, në të cilat energjia elektrike shndërrohet në energji termike ose në energji të dritës. Megjithatë, të njëjtat dukuri mikroskopike shkaktajnë edhe humbje të padëshiruara: mbinxehjen e kablllove, zvogëlimin e efikasitetit të motorëve elektrikë, si dhe humbjen e nxehtësisë në transformatorë dhe në pajisje të tjera elektrike. Veprimi termik i rrymës elektrike shfaqet në çdo element të qarkut elektrik. Madhësia e këtij veprimi përcaktohet nga sasia e nxehtësisë që çlirohet në atë element.

Efekti termik i rrymës elektrike shprehet në mënyrë matematikore me Ligjin e Xhul–Lencit:

$$Q = I^2 R t,$$

sipas të cilit, sasia e nxehtësisë Q e çliruar në përçues ose në shpenzues, varet nga katrori i intensitetit të rrymës që rrjedh nëpër përçuesin/shpenzuesin, nga rezistenca e shpenzuesit dhe nga koha e rrjedhjes së rrymës. Formula e mësipërme mund të nxirret duke supozuar se puna e rrymës elektrike shndërrohet në energji dhe duke marrë parasysh Ligjin e parë të Omit:

$$Q = U \cdot I \cdot t = \frac{U^2}{R} t = I^2 R t .$$

Këto formula kanë rëndësi të madhe praktike. Me to shpjegohet pse telat e hollë, gjatë të njëjtit intensitet të rrymës nxehen më shumë se telat e trashë; pse linjat e transmetimit të energjisë elektrike ndërtohen prej materiali me rezistencë specifike të vogël dhe pse siguresat janë ndërtuar në mënyrë që, gjatë kalimit të një rryme tepër të madhe, të mbinxehen dhe ta ndërpresin qarkun.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Sa nxehtësi do të çlirohet në një përçues me rezistencë 4Ω nëpër të cilin rrjedh rrymë me intensitet $2A$ për $30s$?

Të dhënat:

$R = 4\Omega$, $I = 2A$, $t = 30s$

Kërkohet:

$Q - ?$

Zgjidhja:

Përdorim Ligjin e Xhul–Lencit: $Q = I^2 R t = 480 J$.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Në jetën e përditshme përdorim vazhdimisht pajisje elektrike, si frigoriferët, makinat larëse, kondicionerët, ngrohësit e ujit, sobat dhe pajisjet e ndriçimit. Secila prej këtyre pajisjeve punon me një fuqi të caktuar elektrike, e cila tregon shpejtësinë me të cilën pajisja shpenzon energjinë elektrike.

Sa më e madhe të jetë fuqia e pajisjes, aq më shumë energji elektrike përdoret në njësi të kohës. Prandaj, pajisjet me fuqi të madhe, si ngrohësit e ujit, sobat elektrike dhe kondicionerët, shpenzojnë dukshëm më shumë energji elektrike se pajisjet me fuqi të vogël, si llambat LED ose mbushësit e telefonave celularë edhe kur punojnë në të njëjtin tension.

Përveç fuqisë, për energjinë e përgjithshme elektrike të shpenzuar është e rëndësishme edhe koha e punës së pajisjes. Energjia elektrike që shpenzon një pajisje përcaktohet me shprehjen

$$E = P \cdot t,$$

Kjo do të thotë se një pajisje me fuqi më të madhe do të shpenzojë më shumë energji gjatë të njëjtit interval kohor ose të njëjtën sasi energjie për një kohë më të shkurtër.

Për t'i ndihmuar konsumatorët të bëjnë një zgjedhje më ekonomike, në shumicën e pajisjeve elektrike vendoset një etiketë energjetike. Ajo tregon efikasitetin energjetik të pajisjes, përkatësisht raportin ndërmjet energjisë së dobishme që jep pajisja dhe energjisë elektrike që shpenzon. Pajisjet me klasë më të lartë energjetike (për shembull, A ose A+) shpenzojnë më pak energji elektrike për të njëjtin qëllim, krahasuar me pajisjet me klasë më të ulët energjetike.

Zgjedhja e pajisjeve me efikasitet më të lartë energjetik çon në shpenzim më të vogël të energjisë elektrike, fatura më të ulëta të energjisë elektrike dhe humbje më të vogla të energjisë. Në këtë mënyrë, nocionet e fuqisë elektrike, punës dhe energjisë gjejnë zbatim të qartë praktik në jetën e përditshme dhe kontribuojnë në përdorimin më të përgjegjshëm të energjisë elektrike.



Figura 2. Etiketat energjetike të pajisjeve elektrike. Fuqia e pajisjes dhe koha e punës përcaktojnë energjinë e përgjithshme elektrike të shpenzuar..



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse gjatë rrjedhjes së rrymës elektrike nëpër një përçues krijohet nxehtësi?
2. Pse ngrohësit elektrikë (hekuri, tosteri, kaloriferi) nxehen shumë më tepër se përçuesit e zakonshëm në të njëjtin qark, edhe pse nëpër ta rrjedh e njëjta rrymë?
3. Pse në qarqet elektrike ku rrjedhin rryma me intensitet të madh duhet të përdoren përçues të trashë dhe jo tela të hollë?
4. Shpjego pse telat përçues të mbushësve të telefonave nxehen më shumë nëse telefoni mbushet shpejt, edhe nëse mbushësit përdorin të njëjtin tension.
5. Dy rezistorë me rezistenca $20\ \Omega$ dhe $30\ \Omega$ janë lidhur në seri me një burim tensioni prej 120V . Të përcaktohen:
 - a) Fuqia elektrike e secilit rezistor;
 - b) Fuqia e përgjithshme e qarkut. (Zgjidhja: a) $115, 2\text{ W}$, $172,8\text{ W}$, b) 288 W)
6. Dy shpenzues me rezistenca $R_1 = 10\ \Omega$ dhe $R_2 = 40\ \Omega$ janë lidhur paralelisht me një burim që ka FEM prej 120V dhe rezistencë të brendshme të papërfillshme. Të përcaktohen:
 - a) Intensiteti i rrymës nëpër secilin shpenzues;
 - b) Fuqia elektrike e secilit shpenzues. (Zgjidhja a) 12 A , 3 A b) 1440 W 360 W)

1.13. Rryma elektrike nëpër lëngje dhe gaze

Rrufeja paraqet një shkarkim elektrik nëpër ajër. Por si mund të shfaqet ajo, kur gazet në kushte normale janë izolatorë dhe nuk lejojnë rrjedhjen e rrymës elektrike? Dhe si mund të rrjedhë rryma nëpër lëngje në raste të caktuara?

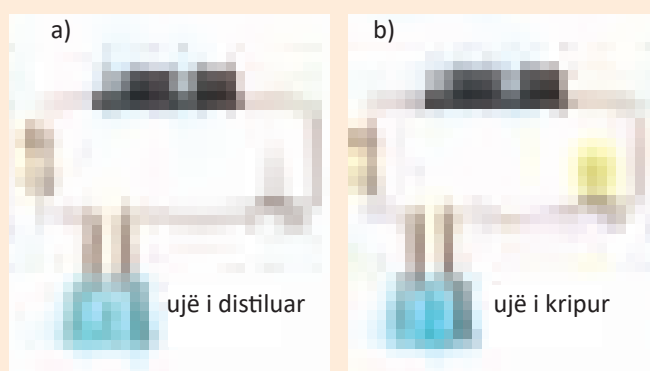
Rryma elektrike mund të rrjedhë nëpër mjedise të ndryshme, por ndryshe nga metalet, ku bartësit e rrymës elektrike janë elektronet e lira, në lëngje dhe gaze rryma përçohet në mënyrë tjetër dhe në kushte të veçanta.



AKTIVITETI 1.

Zhyt në një enë me ujë të distiluar dy elektroda të lidhura me një burim rryme dhe një llambë. Mbyll ndërprerësin e qarkut elektrik. A ndizet llamba? Në vend të llambës, në qark mund të lidhësh një ampermetër. Pastaj, në enën me ujë shto kripë kuzhine. A ndizet tani llamba pasi të mbyllësh ndërprerësin?

Figura 1. a) Uji i distiluar nuk e përçon rrymën. b) Uji i kripur e përçon rrymën.



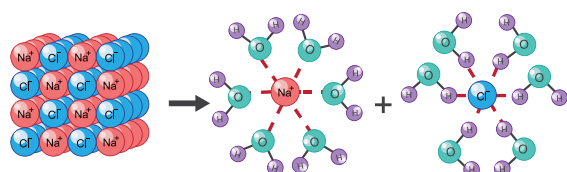
Rryma elektrike nëpër lëngje

Në këtë aktivitet u tregua se Lidhja e kondensatorëve nuk e përçon rrymën, ndërsa tretësira e kripës në ujë është përçuese e rrymës (figura 1). Llamba do të ndriçojë ose ampermetri do të tregojë rrjedhjen e rrymës edhe nëse në ujë, në vend të kripës, tretim një bazë ose një acid. Pra, **tretësit e kripërave, bazave ose acideve e përçojnë rrymën**. Nga ana tjetër, nëse kripa shtohet në vaj, tretësira mbetet izolator. Kjo tregon se përçueshmëria nuk varet vetëm nga prania e një substance të tretur, por edhe nga prania e bartësve të lëvizshëm të ngarkesës elektrike në lëng

Disocimi elektrolitik

Mund të supozojmë se në tretësirën e kripës dhe ujit kanë ndodhur ndryshime që kanë çuar në krijimin e ngarkesave të cilat janë bartëse të rrymës. Nën veprimin e ujit, molekulat e kripës zbërthehen në jone. Procesi i ndarjes së molekulave të substancës së tretur në jone quhet **disocim elektrolitik**. Si rezultat i këtij procesi, në tretësirë krijohen **jone pozitive (katione)** dhe **jone negative (anione)**. Pikërisht këto jone janë bartëse të rrymës elektrike në lëngje. Uji është tretës i mirë sepse molekulat e tij janë polare, përkatësisht janë molekula në të cilat ngarkesa elektrike nuk është e shpërndarë në mënyrë të njëtrajtshme. Njëri skaj i molekulës është i elektrizuar pozitivisht, ndërsa skaji tjetër negativisht.

Kur kripa vendoset në ujë, molekulat polare të ujit orientohen në mënyrë të tillë që ngarkesat e tyre



kristal i NaCl-së (kripë kuzhine)

tretësirë e NaCl-së

Figura 2. Disocimi elektrolitik i klorurit të natriumit

të kundërta të kahëzohen drejt joneve përkatëse: pjesa negative e molekulës së ujit tërhiqet drejt Na^+ , ndërsa pjesa pozitive drejt Cl^- . Në këtë mënyrë, molekulat e ujit e dobësojnë lidhjen që i mban jonet në rrjetën kristalore dhe krijohen jone pozitive dhe negative të rrethuara me molekula uji, figura 2.

Këto jone të lira mund të lëvizin nëpër tretësirë. Pikërisht lëvizshmëria e tyre i mundëson lëngut ta përçojë rrymën elektrike kur elektrodën lidhen me burimin e rrymës. Jonet pozitive (kationet) lëvizin drejt elektrodës negative (katodës), ndërsa jonet negative (anionet) drejt elektrodës pozitive (anodës). Në këtë mënyrë, nëpër

tretësirë rrjedh rrymë. Te vaji situata është ndryshe. Molekulat e tij janë jopolare, prandaj nuk mund t'i „shkëputin“ lidhjet jonike në molekulat e klorurit të natriumit. Për këtë arsye, kripa mbetet e padisociuar, në tretësirë nuk ka jone të lëvizshme dhe vaji nuk e përçon rrymën elektrike. **Lëngjet që e përçojnë rrymën elektrike quhen elektrolite.** Meqenëse rryma në to paraqet lëvizje të kahëzuar të joneve, përçueshmëria e tyre është jonike.

Elektroliza

Nëse në elektrolit nuk ka fushë elektrike, lëvizja termike e joneve është kaotike. Por, nën veprimin e fushës elektrike të krijuar ndërmjet dy elektrodave të lidhura me një burim të rrymës njëkahëshe, jonet lëvizin në mënyrë të kahëzuar. Jonet negative (anionet) lëvizin drejt elektrodës pozitive (anodës), ndërsa jonet pozitive (kationet) lëvizin drejt elektrodës negative (katodës). Jonet arrijnë te elektrodën dhe marrin pjesë në reaksione kimike. Anionet ia japin anodës elektronet e tepërta, ndërsa kationet e plotësojnë mungesën e elektroneve duke i marrë ato nga katoda (figura 3). **Procesi gjatë të cilit, nën veprimin e rrymës elektrike nëpër elektrolit, në elektroda veçohen ose depozitohen substanca nga elektroliti ose produkte të reaksioneve kimike sekondare, quhet elektrolizë.**

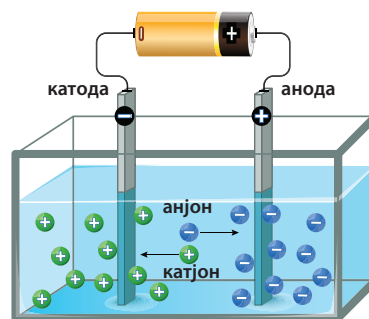


Figura 3. Lëvizja e joneve në elektrolit

Ligjet e Faradejit për elektrolizën

Në qarkun elektrik të figurës 3, rryma me të njëjtin intensitet rrjedh nëpër përçuesit metalikë, elektrodën dhe elektrolitin. Gjatë procesit të elektrolizës, për të njëjtën kohë, anoda merr po aq elektrone sa jep katoda.

Megjithatë, jonet ose grimcat e ndryshme që marrin pjesë në elektrolizë kanë masa të ndryshme. Majkëll Faradej hulumtoi nga se varet masa e substancës që depozitohet në elektrodë ose çlirohet në formë gazi..

Nëse gjatë një kohe të dhënë t , nëpër elektrolit rrjedh rrymë me intensitet I , kjo do të thotë se nëpër të do të kalojë sasia e ngarkesës elektrike $q = I \cdot t$. Sa më shumë grimca të depozitohen në elektrodë gjatë kësaj kohe, aq më e madhe do të jetë masa m e substancës së depozituar në elektrodë, përkatësisht: $m = m_0 \cdot N$, ku m_0 është masa e një grimce, ndërsa N është numri i tyre.

Meqenëse sasinë e ngarkesës elektrike mund ta shprehim nëpërmjet ngarkesës së joneve që janë bartës të rrymës në elektrolit (ze), si: $q = N \cdot z \cdot e$, tatëherë fitojmë $N = \frac{q}{ze}$.

Këtë ekuacion e zëvendësojmë në ekuacionin e masës, pastaj numëruesin dhe emëruesin e shprehjes në anën e djathtë i shumëzojmë me numrin e Avogadros (N_A):

$$m = m_0 \cdot \frac{q}{ze} \cdot \frac{N_A}{N_A}.$$

Nëse merret parasysh se $m_0 \cdot N_A = M$, ndërsa prodhimin e dy konstantave jep përsëri një konstante, d.m.th. $e \cdot N_A = F$, atëherë fitojmë formulën për masën e substancës në elektrodë:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{z} \cdot q,$$

ku F është konstanta e Faradejit, M është masa molare (masa e një moli të substancës), ndërsa z është valenca e atomit, përkatësisht ngarkesa e joneve.

Me formulën e fundit shprehen në mënyrë matematikore përfundimet e Faradejit, të njohura si **ligjet e Faradejit**. Sipas **Ligjit të parë të Faradejit**, masa e substancës së ndarë në elektroda është në përpjesëtim të drejtë me sasinë e ngarkesës elektrike që kalon nëpër elektrolit, d.m.th.

$$m = k \cdot q,$$

ku k është koeficienti i proporcionalitetit, të cilin e quajmë ekuivalent elektrokimik. Ai varet nga lloji i substancës dhe shprehet me njësinë $\frac{\text{kg}}{\text{C}}$. Meqenëse në eksperiment është më e lehtë të matet intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër elektrolit (I) dhe koha gjatë së cilës rrjedh ajo rrymë (t), Ligjin e parë të Faradejit mund ta shkruajmë në një formë më praktike, përkatësisht:

$$m = k \cdot I \cdot t.$$

Sipas Ligjit të dytë të Faradejit, masa e substancës që depozitohet ose çlirohet në elektrodë varet edhe nga lloji i substancës. Me fjalë të tjera, kjo mund të shprehet në këtë mënyrë: ekuivalenti elektrokimik i substancës është në përpjesëtim të drejtë me ekuivalentin e saj kimik: $\frac{M}{z}$. Në mënyrë matematikore mund ta shkruajmë me formulën e mëposhtme:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{z}.$$

ku shprehja $\frac{M}{z}$ është ekuivalenti kimik i substancës, ndërsa konstanta e proporcionalitetit është vlera reciproke e konstantës së Faradejit. Konstanta e Faradejit ka vlerën $F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$ dhe paraqet sasinë e ngarkesës elektrike që duhet të kalojë nëpër elektrolit, në mënyrë që në katodë të ndahet një mol i një substance njëvalente ($z = 1$).



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Sa nikel do të ndahet gjatë rrjedhjes së rrymës me intensitet 15 A nëpër një tretësirë të kripës së nikelit për 1 orë? Ekuivalenti elektrokimik i nikelit është $3,04 \cdot 10^{-7} \text{ kg/C}$.

Të dhënat:

$$I = 15 \text{ A}, t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s},$$

$$k = 3,04 \cdot 10^{-7} \text{ kg/C}$$

Kërkohet::

$$m = ?$$

Zgjidhje:

Nga ligji i dytë i Faradejit $m = k \cdot q$, anëse sasinë e elektricitetit e shprehim nëpërmjet intensitetit të rrymës $m = k \cdot I \cdot t$ dhe zëvendësojmë vlerat numerike, fitojmë $m = 16,4 \text{ g}$.

**SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.**

Gjatë elektrolizës së oksidit të aluminit të shkrirë (Al_2O_3) janë shpenzuar 50 kWh energji elektrike për të përfituar 0,7kg alumin të pastër në katodë.

a) Llogarit ekuivalentin elektrokimik të aluminit. Vlerat e masës molare dhe të valencës së aluminit merrini nga Sistemi Periodik i Elementeve.

b) Llogaritni tensionin midis elektrodave në elektrolit.

Të dhënat:

$$E = 50 \text{ kWh} = 50 \cdot 1000 \cdot 3600 \text{ Ws} = 1,8 \cdot 10^8 \text{ J},$$

$$m = 0,7 \text{ kg}$$

Kërkohet:

$$\text{a) } k = ?$$

$$\text{b) } U = ?$$

Zgjidhje: a) Nga ligji i dytë i Faradejit $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{z}$, duke përdorur të dhënat $M = 26,98 \text{ g/mol}$ dhe $z = 3$ nga Sistemi Periodik i Elementeve, llogaritjet japin vlerën $k = 9,32 \cdot 10^{-8} \text{ kg/C}$.

b) Në ligjin e parë të Faradejit $m = k \cdot I \cdot t$, prodhimin $I \cdot t$ mund ta marrim nga shprehja për energjinë e rrymës elektrike $E = U \cdot I \cdot t$. Pas këtij zëvendësimi, për tensionin ndërmjet elektrodave fitojmë $U = k \frac{E}{m}$, andërsa llogaritjet japin $U = 24 \text{ V}$.

**BATIMI NË JETËN E PËRDITSHME**

Elektroliza ka zbatim të gjerë në shkencë dhe teknologji. Për shembull, elektrokimia është një degë e veçantë e kimisë që merret me studimin e proceseve kimike, të cilat në çfarëdo mënyre lidhen me rrymën elektrike. Në metalurgji, me anë të elektrolizës, një metal i caktuar rafinohet (pastrohet), me qëllim që të përfitohet metal i pastër pa papastërti. Gjatë rafinimit elektrolitik të bakrit, katoda është një pllakë prej bakri të pastër, anoda është prej bakri të papërpunuar, ndërsa si elektrolit përdoret një tretësirë ujore e sulfatit të bakrit. Bakri që përfitohet në katodë ka pastërti mbi 99%, ndërsa mund të përfitohen edhe metale fisnike.

Në sistemet industriale-teknologjike, elektroliza përdoret për përfitimin e metaleve. Për disa metale, xeherorët e të cilave, zakonisht okside ose kripëra të metalit, janë shumë të qëndrueshëm ose kanë temperaturë të lartë të shkrirjes, elektroliza është mënyra e vetme e përfitimit të tyre. Metale të tilla janë alumini, litiumi, natriumi, kaliumi, magnezi e të tjera. Për përfitimin e aluminit nga boksiti, xeheror që përmban Al_2O_3 , xeherori fillimisht tretet në një tretësirë që e ul temperaturën e shkrirjes dhe e rrit përçueshmërinë e tij. Kjo tretësirë përdoret si elektrolit, ndërsa si elektroda përdoren shufra grafiti. Si produkt përfitohet metal i pastër, rezistent ndaj korrozionit

Në shumë raste, industria ka nevojë që disa objekte të prodhuara prej metali të vishen me një metal tjetër, për t'u dhënë fortësi më të madhe, për arsye estetike, për mbrojtje nga korrozioni, për përmirësimin e pamjes (veshje dekorative) ose për t'u dhënë më shumë shkëlqim.

Më së shpeshti bëhet veshja me bakër, zink, nikel ose krom. Procesi i veshjes së objekteve metalike me një shtresë të hollë të një metali tjetër me anë të elektrolizës quhet galvanizim. Si katodë përdoret metali ose objekti që duhet të vishet, ndërsa si anodë përdoret një shufër prej metalit që depozitohet. Si elektrolit përdoret një tretësirë ujore e kripës së metalit që vendoset. Galvanizimi është një proces që përdoret shpesh, por qëllimi dhe përdorimi i tij mund të jenë të ndryshëm. Një parim i ngjashëm përdoret në galvanoplastikë, e cila është një procedurë për përfitimin elektrolitik të objekteve me një shtresë të trashë, si kopje të origjinaleve. Fillimisht përgatitet një kallëp prej dylli, gipsi ose plastike, i cili më pas lyhet me pluhur grafiti, që sipërfaqja të bëhet përçuese e rrymës elektrike. Pastaj, në të njëjtën mënyrë të përsëritur më sipër, kallëpi vendoset në elektrolit dhe mbi të depozitohet metali. Në këtë mënyrë prodhohen kopje në reliev të objekteve për industrinë, për qëllime tregtare, në sport, në art dhe në fusha të tjera.

Rryma elektrike në gaze

Gazet përbëhen nga atome dhe molekula neutrale dhe në kushte normale janë izolatorë elektrikë. Megjithatë, në kushte të caktuara, gazet mund të bëhen përçues. Nëse në to krijohen elektrone dhe jone, këto grimca mund të jenë bartëse të rrymës elektrike. Procesi i shkëputjes së elektroneve nga atomet ose molekulat neutrale quhet jonizim. Në këtë mënyrë, në gaz krijohen jone pozitive dhe elektrone. Në gaz mund të krijohen edhe jone negative, kur një elektron i lirë bashkohet me një atom ose molekulë neutrale. Veprimi i jashtëm që shkakton procesin e jonizimit të gazit quhet jonizues. Jonizues mund të jetë temperatura e lartë, ekspozimi i gazit ndaj rrezatimit jonizues (ultravjollcë, rëntgen ose gama), fusha e fortë elektrike dhe përplasja me grimca të shpejta. Që të fillojë procesi i jonizimit të gazit, grimcës përbërëse të tij duhet t'i jepet energji e mjaftueshme, e cila quhet energji jonizimi.

Shkarkimi i varur dhe i pavarur

Kur dy elektroda lidhen me një burim rryme, në hapësirën ndërmjet tyre krijohet një fushë elektrike. Nëse tensioni ndërmjet elektrodave është i vogël, edhe fusha është e dobët dhe nëpër gaz nuk rrjedh rrymë, megjithëse në gaz gjithmonë ka një numër të vogël elektronesh dhe jonesh të krijuara nga rrezatimi natyror kozmik ose nga përplasjet e rralla ndërmjet molekulave. Për sa kohë që fusha është e dobët, nuk mund të regjistrohet rrjedhja e rrymës nëpër gaz. Nëse gazi jonizohet me anë të një jonizuesi (flaka e qiriut, burim radioaktiv i rrezatimit gama), përkatësisht nëse rritet numri i elektroneve dhe i joneve pozitive në të, rryma fillon të rrjedhë edhe kur fusha e jashtme është e dobët. Procesi i rrjedhjes së rrymës nëpër gaz quhet shkarkim elektrik. Rrjedhja e rrymës që krijohet dhe mbahet nën veprimin e një jonizuesi të jashtëm quhet shkarkim i varur në gaz, figura 4.

Nëse tensioni ndërmjet elektrodave rritet ndjeshëm, fusha elektrike bëhet mjaft e fortë dhe i përshpejton elektronet e lira që ndodhen në gaz. Elektronet e përshpejtuara fitojnë energji kinetike më të madhe dhe gjatë përplasjes me një molekulë neutrale të gazit, mund të shkëputin një elektron prej saj. Kur ndodh kjo, molekula e gazit ngarkohet pozitivisht.

Elektroni i ri i lirë fiton energji kinetike dhe vazhdon të lëvizë nëpër gaz. Çdo elektron i ri mund të çlirojë edhe një elektron tjetër duke u përplasur gjatë rrugës me një molekulë neutrale. Në këtë mënyrë, numri i elektroneve dhe i joneve pozitive rritet shumëfish, siç tregohet në figurën 5. Ky proces quhet jonizim me përplasje.

Shkaku i vetëm i jonizimit është energjia kinetike që elektronet fitojnë nga fusha e fortë elektrike.

Nëse tensioni ndërmjet pllakave është mjaft i madh, atëherë

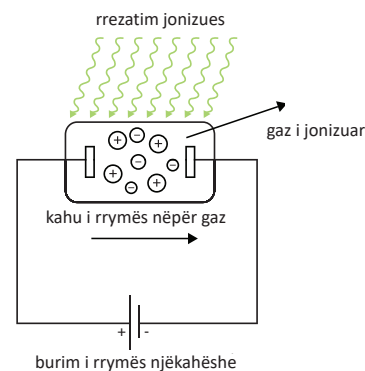


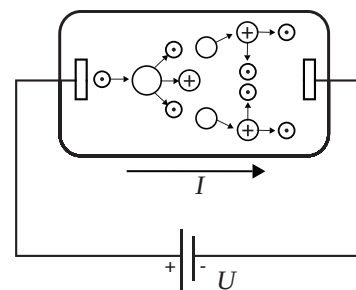
Figura 4.

Shkarkim elektrik i varur në gaz

jonizimi me përplasje bëhet i vetëqëndrueshëm, përkatësisht zhvillohet vazhdimisht. Kur intensiteti i fushës është mjaft i madh, gazi kalon në një gjendje në të cilën krijon vetë jone dhe elektrone të reja, pa pasur nevojë për veprim jonizues të jashtëm. Atëherë themi se shfaqet shkarkimi i pavarur i gazit.

Ky shkarkim mund të jetë afatshkurtër, si shkëndija, ose më afatgjatë, si harku elektrik. Në natyrë, i njëjti mekanizëm shfaqet te rrufeja. Ajo paraqet një shkarkim elektrik ndërmjet resë dhe Tokës (ose ndërmjet dy reve), gjatë të cilit krijohet një fushë elektrike shumë e fortë që e jonizon ajrin dhe krijon një kanal, nëpër të cilin rrjedh rrymë me intensitet shumë të madh.

Për zbatimin praktik është i rëndësishëm shkarkimi elektrik i kontrolluar. Gazi mbyllet në një enë dhe shtypja e tij zvogëlohet. Në këtë mënyrë arrihet izolimi i gazit dhe mund të kontrollohet gjatësia e rrugës ndërmjet dy përplasjeve të grimcave të gazit (rruga e lirë mesatare), si dhe të rregullohet lehtë intensiteti i fushës elektrike. Ky shkarkim i gazit zbatohet në kërkimet laboratorike dhe shkencore, te lazerët me gaz, tubat katodikë, llambat me neon për ndriçim dhe tubat ndriçues me gaze të rralluara, si argoni, kriptoni etj.



burim i tensionit të lartë

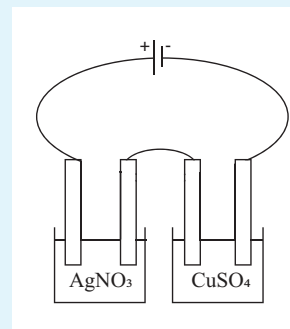
Figura 5.

Shkarkimi elektrik i pavarur në gaz



PYETJE DHE DETYRA

1. Cilat grimca janë bartëse të rrymës elektrike në elektrolite dhe cilat në gaze?
2. Shpjego pse masa e metalit që depozitohet në katodë është në përpjesëtim të drejtë me intensitetin e rrymës që kalon nëpër elektrolit.
3. Shpjego procesin e galvanizimit.
4. Çfarë roli ka fusha elektrike në procesin e jonizimit me përplasje?
5. Shpjego dallimin ndërmjet shkarkimit të varur dhe shkarkimit të pavarur në gaz..
6. Gjatë elektrolizës së CuSO_4 , nëpër elektrolit rrjedh rrymë me intensitet 4A. Llogarit masën e bakrit që depozitohet në katodë, nëse rryma rrjedh nëpër elektrolit për 12 orë. (Zgjidhje: 57 g)
7. Në dy enë zhvillohet njëkohësisht elektroliza e kripërave të bakrit dhe të argjendit, siç tregohet në figurë. Sa është masa e argjendit të ndarë, nëse masa e bakrit të ndarë është 100g? Në figurë shëno se në cilën elektrodë do të ndahet bakri dhe në cilën argjendi. (Zgjidhje $m_{\text{Ag}} = 399 \text{ g}$)



1.14. Fusha magnetike

Magnetizmi është një dukuri fizike e njohur që nga qytetërimet e lashta, të cilat kishin vërejtur se minerali natyror magnetit mund të tërhiqte objekte të vogla prej hekuri. Sipas burimeve historike, emërtimet **magnet dhe magnetizëm** e kanë prejardhjen nga krahina antike e Magnezisë, në Turqi, ku ishin gjetur këto xeherore. Disa materiale kanë vetinë natyrore për të tërhequr objekte prej hekuri dhe këto materiale i quajmë materiale magnetike. Ato kanë veti magnetike, bashkëveprojnë me fushën magnetike, mund të magnetizohen dhe të bashkëveprojnë me magnetët natyrorë. Në grupin e materialeve që kanë veti magnetike bëjnë pjesë hekuri, nikeli, kobalti, çeliku dhe disa aliazhe të tjera, si AlNiCo dhe NdFeB (magnetët e neodimiumit).

Deri në fillim të shekullit XVII, vetia natyrore e disa xeheroreve për të tërhequr objekte prej hekuri nuk kishte shpjegim shkencor. Ajo konsiderohej vetëm si një veti e pazakontë e disa gurëve. Në atë kohë, Uilliam Gilberti, shkencëtar dhe mjek anglez, botoi librin „Mbi magnetët“.

Pas shumë vitesh kërkimesh dhe eksperimentesh, ai publikoi njohuri shkencore që, parë nga këndvështrimi i sotëm, janë mbresëlënëse për kohën në të cilën jetoi. Sipas tij, Toka paraqet një magnet të madh me polet e veta magnetike. Gilberti e rrëzoi mitin për një ishull të madh magnetik në Polin e Veriut të Tokës dhe për fuqinë e Yllit Polar, duke theksuar se busulla nuk „shikon drejt yllit“, por bashkëvepron me fushën magnetike të Tokës.

Magneti dhe polet magnetike

Çdo magnet ka dy pole: polin e veriut dhe polin e jugut. Sa herë që një magnet thyhet ose ndahet, fitohen magnetë të rinj me nga dy pole, figura 1. Shumë fizikanë janë përpjekur të fitojnë një magnet me një pol (monopol magnetik), por të gjitha përpjekjet kanë qenë të pasuksesshme. Asnjëherë nuk është zbuluar një pol magnetik i izoluar. Magnet me një pol nuk ekziston, sepse magnetizmi në materie buron nga ndërtimi i brendshëm i materialit, si rezultat i strukturave dipolare (me dy pole).

Një pajisje veçanërisht e rëndësishme, e krijuar nga njohuritë për vetitë e magnetëve natyrorë, është busulla. Ajo është një magnet në formë shufre, funksionimi i së cilës bazohet në ekzistencën e fushës magnetike të Tokës. Busulla përbëhet nga një gjilpërë magnetike që mund të rrotullohet lirshëm rreth qendrës së saj të rëndesës. Gjilpëra vendoset në një kuti prej materiali jomagnetik, si alumini, plastika ose qelqi. Sipas marrëveshjes, skajin e gjilpërës që drejtohet nga poli gjeografik verior i Tokës e quajmë **pol magnetik verior** (dhe shënohet me N), ndërsa skajin e gjilpërës që drejtohet nga poli gjeografik jugor i Tokës e quajmë **pol magnetik jugor** (dhe shënohet me S). Për orientimin në hapësirë dhe përcaktimin e kahjes së polit gjeografik verior, busulla vendoset në pozicion horizontal dhe pritët derisa gjilpëra të qetësohet. Pastaj, poli magnetik verior i gjilpërës tregon drejt veriut (figura 2).



Figura 1. Çdo magnet ka dy pole.

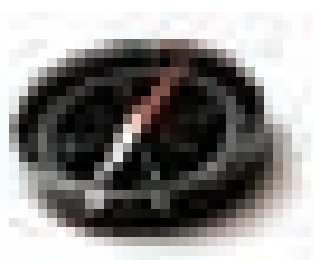
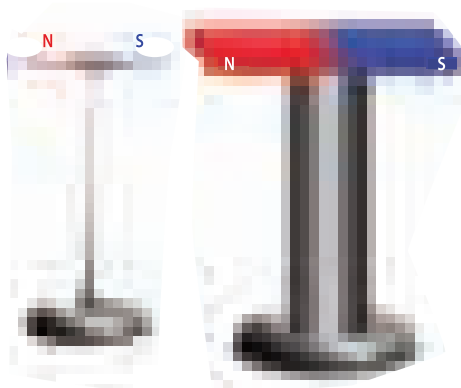


Figura 2. Busulla.

Bashkëveprimi i dy magnetëve mund të demonstron lehtë me një gjilpërë magnetike. Nëse një gjilpërë magnetike, e cila mund të rrotullohet lirshëm rreth qendrës së saj të rëndesës, afrohet pranë polit të veriut të një magneti shufër, gjilpëra do të vendoset në mënyrë të tillë që polet e kundërta magnetike të tërhiqen, ndërsa polet e njëjta të shtyhen (figura 3a). I njëjti përfundim vlen edhe për bashkëveprimin e dy magnetëve shufër: polet e kundërta (N–S ose S–N) tërhiqen, ndërsa polet e njëjta (N–N ose S–S) shtyhen (figura 3b).

a)



b)

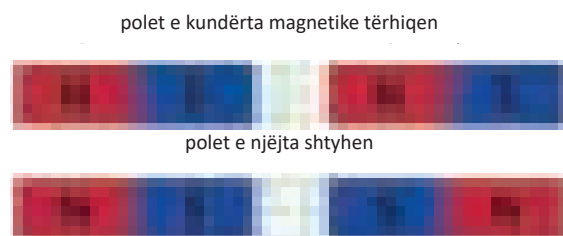


Figura 3. a) Bashkëveprimi i gjilpërës magnetike me magnetin shufër. b) Bashkëveprimi i dy magnetëve shufër.



AKTIVITETI 1.

Merr një magnet shufër dhe një gjilpërë magnetike të vendosur mbi një mbështetëse ose një busull. Vendose magnetin mbi një material jomagnetik. Afroje ngadalë gjilpërën pranë njërit pol të magnetit, siç tregohet në figurën 3a, dhe vëzhgo sjelljen e saj. Pastaj provo ta afrosh gjilpërën pranë polit tjetër të magnetit. Çfarë vëren? Në cilin rast forca është tërheqëse dhe në cilin rast është shtytëse? Në fletore vizato një skicë dhe shëno forcat me të cilat bashkëveprojnë magneti dhe gjilpëra magnetike.

Shënim: Për këtë aktivitet mund të përdorësh edhe simulimin: Magneti dhe busulla (Magnet and Compass), të cilin mund ta gesh në faqen e mëposhtme të internetit: <https://phet.colorado.edu/mk/simulations/magnet-and-compass>.



Fusha magnetike dhe vijat e forcës magnetike

Çdo magnet e ndryshon hapësirën në afërsi të tij dhe ky ndryshim realizohet nëpërmjet krijimit të fushës magnetike. Ashtu siç rreth çdo ngarkese elektrike ekziston një fushë elektrike, edhe rreth çdo magneti ekziston një **fushë magnetike**. Nëpërmjet fushës magnetike realizohet bashkëveprimi i një magneti me një magnet tjetër ose me një përçues nëpër të cilin rrjedh rrymë. Për vizualizimin dhe paraqitjen e qartë grafike të fushës magnetike në hapësirë, përdorim vijat e forcës magnetike. Ato janë vetëm një model, përkatësisht një mjet i dobishëm për t'i kuptuar më lehtë vetitë e fushës magnetike. Vijat e forcës magnetike janë vija të paramenduara të cilat në të vërtetë nuk ekzistojnë në kuptimin material.



AKTIVITETI 2.

Mbi tavolinën e punës vendos një magnet shufër ose një magnet në formë patkoi, ndërsa mbi të vendos një pllakë të hollë plastike ose qelq prej akrili. Mbi pllakë shpërndaj bujashka hekuri. Trokit lehtë disa herë me gishta mbi pllakën me bujashka hekuri. Vëzhgo shpërndarjen e bujashkave të hekurit (figura 4). Diskuto për shpërndarjen dhe dendësinë e saj.

a)



b)



Figura 4.
Demonstrimi i vijave të forcës magnetike me bujashka hekuri:
a) Magnet në formë shufre.

Kahja e vijave të forcës magnetike në një pikë të dhënë përcaktohet nga kahja që merr poli i veriut i gjilpërës magnetike në atë pikë. Sipas kësaj marrëveshjeje, jashtë magnetit, vijat e forcës magnetike dalin nga poli magnetik i veriut dhe hyjnë në polin magnetik të jugut (figura 5). Ato nuk priten në asnjë vend dhe ndjekin formën karakteristike të fushës rreth magnetit. Vijat e forcës magnetike janë vija të mbyllura, gjë që është një dëshmi tjetër se nuk ekziston pol magnetik i izoluar. Në figurën 5 mund të vërehet se dendësia e vijave të forcës magnetike është më e madhe pranë poleve të magnetit në formë shufre. Nëse



Figura 5. Vijat e forcës magnetike të magnetit në formë shufre.

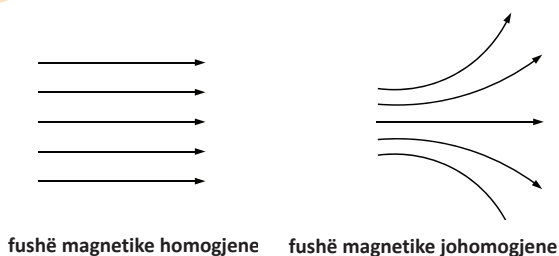


Figura 6. Fusha magnetike homogjene dhe johomogjene.

vijat e forcës janë paralele dhe të larguara njësoj nga njëra-tjetra, themi se fusha është homogjene, ndërsa në rastin e kundërt kemi fushë magnetike johomogjene. Për paraqitjen e njëtrajtshme të shpërndarjes hapësinore të fushës magnetike dhe të kahut të saj në dy dimensione, përdorim shenja të përcaktuara. Nëse vijat e fushës janë pingule me rrafshin e letrës ose të tabelës dhe hyjnë në të, përdorim shenjën $\otimes$, ndërsa nëse dalin prej tij, përdorim shenjën $\odot$.

Fusha magnetike e Tokës

Dihet se gjilpëra e busullës, si një magnet i vogël në formë shufre, orientohet përafërsisht në drejtimin jug-veri. Orientimi i gjilpërës magnetike tregon se Toka sillet si një magnet i madh në formë shufre. Meqenëse, sipas marrëveshjes, skaji i gjilpërës magnetike që orientohet drejt veriut është poli magnetik i veriut i gjilpërës, atëherë poli magnetik i veriut i Tokës ndodhet pranë polit gjeografik të jugut, ndërsa poli magnetik i jugut i Tokës ndodhet pranë polit gjeografik të veriut (figura 7).

Shkaku i kësaj fushe magnetike gjendet thellë në brendësi të Tokës. Në pjesën qendrore, Toka ka një bërthamë të brendshme në gjendje agregate të ngurtë dhe rreth saj një bërthamë të jashtme në gjendje agregate të lëngët. Bërthama e jashtme përbëhet nga hekuri dhe nikeli, të cilët janë përçues elektrikë. Për shkak të rrymave termike dhe rotullimit të Tokës rreth boshtit të saj, lëngu përçues, përkatësisht ngarkesat elektrike, vihen në lëvizje. Kjo lëvizje, përkatësisht rrjedhja e ngarkesave elektrike, krijon një fushë magnetike që më pas vetëqëndrueshëm vazhdon të ekzistojë. Kjo dukuri njihet si gjeodinamo.

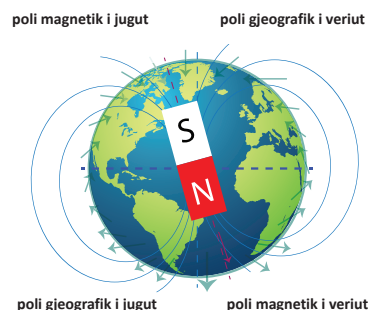


Figura 7. Fusha magnetike e Tokës

Fusha magnetike e krijuar nga rryma elektrike

Nëse e kuptojmë fushën magnetike të Tokës, do të mund ta kuptojmë edhe zbulimin historik të Hans Kristian Erstedt. Në vitin 1820, ai vërejti se gjilpëra e busullës shmangej kur mbi të vendosej një përçues i drejtë, i orientuar në drejtimin veri-jug, nëpër të cilin rridhte rrymë elektrike (figura 8). Fusha magnetike e rrymës ishte mjaft e fortë për ta ndryshuar fushën magnetike të Tokës në afërsi të drejtpërdrejtë të përçuesit. Kjo ishte dëshmia e parë e qartë se rreth një përçuesi nëpër të cilin rrjedh rrymë krijohet një fushë magnetike dhe se dukuritë elektrike dhe magnetike nuk janë të izoluara, por janë të lidhura ndërmjet tyre.



AKTIVITETI 3.

Në përgjithësi, fusha magnetike krijohet nga ngarkesat elektrike që lëvizin, që do të thotë se ajo krijohet edhe rreth një përçuesi nëpër të cilin rrjedh rrymë. Ekzistenca e fushës magnetike rreth një përçuesi nëpër të cilin rrjedh rrymë mund të tregohet me një demonstrim të thjeshtë, të ngjashëm me atë që bëri Erstedt. Lidh një qark elektrik me një burim rryme, ndërprerës, reostat dhe tela përçues. Një pjesë e përçuesit vendoset në vijë të drejtë, pikërisht në drejtimin veri-jug, ndërsa poshtë tij vendoset një gjilpërë magnetike. Kur nëpër përçues nuk rrjedh rrymë, gjilpëra magnetike qëndron në drejtimin veri-jug, siç tregohet në figurën 8a. Kur e mbyllim qarkun, gjilpëra magnetike shmanget nga pozita fillestare, siç tregohet në figurën 8b..

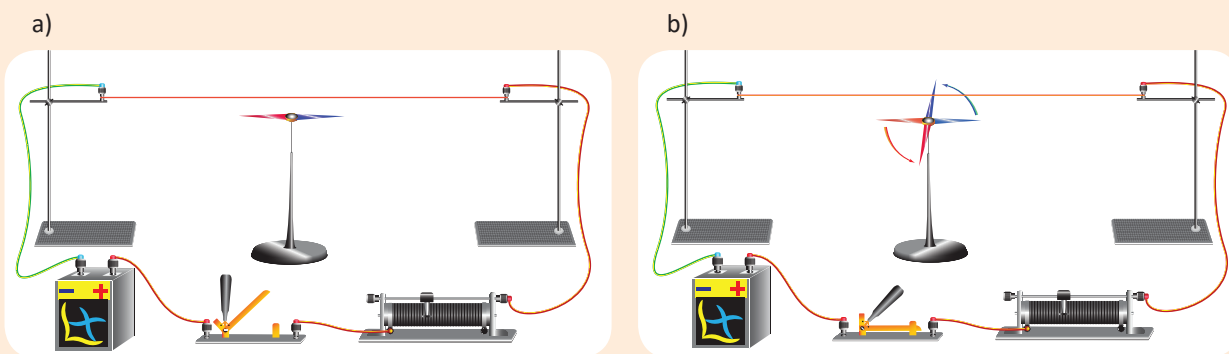


Figura 8. Eksperimenti i Erstedit. a) Nëpër përçues nuk rrjedh rrymë.

Nëse gjilpërën magnetike e lëvizim në hapësirën ku ndodhet një përçues i drejtë, nëpër të cilin rrjedh rrymë njëkahëshe, ajo do të vendoset në mënyrë të tillë që në çdo pikë të tregojë kahen e fushës magnetike në atë pikë. Nëse vizatohen vijat që kalojnë nëpër pozitat e ndryshme të gjilpërës, do të fitohen rathë koncentrikë, si në figurën 9. Pra, vijat e forcës magnetike të një përçuesi të drejtë janë rathë koncentrikë. Kahja e vijave të forcës magnetike rreth përçuesit të drejtë përcaktohet me rregullën e dorës së djathtë. Nëse e kapim përçuesin me dorën e djathtë, në mënyrë që gisht i madh të tregojë kahjen e rrymës, atëherë gishtat e përkulur tregojnë kahjen e vijave të forcës magnetike.

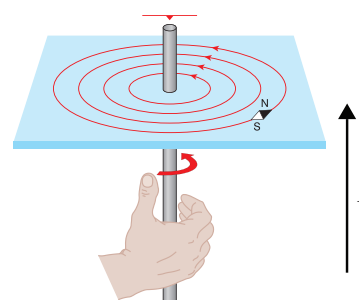


Figura 9. Fusha magnetike e një përçuesi të drejtë nëpër të cilin rrjedh rrymë.

Tani, në vend të një përçuesi të drejtë, të shqyrtojmë rrymën që rrjedh nëpër një përçues të përkulur në formë rrethi. Këtë kontur rrethore të rrymës e quajmë fletë magnetike. Dendësia e vijave të forcës magnetike është më e madhe në qendër të rrethit, sepse të gjitha segmentet e përçuesit (pjesët e vogla të përçuesit) krijojnë fushë me të njëjtën kahje në brendësi të rrethit, siç tregohet në figurën 10. Kjo mund të shihet me një demonstrim të thjeshtë: nëse përçuesi rrethor kalon nëpër një karton mbi të cilin janë shpërndarë bujashka hekuri, ato do të renditen në mënyrë të tillë që të jenë më të dendura në pjesën qendrore. Dendësia e bujashkave tregon madhësinë e fushës, ku dendësia më e madhe nënkupton fushë magnetike më të fortë. Edhe këtu, për kahjen e vijave të forcës magnetike vlen rregulla e dorës së djathtë. Nëse gishtat e përkulur të dorës së djathtë tregojnë kahjen e rrymës nëpër përçuesin rrethor, atëherë gisht i madh tregon polin e veriut të magnetit. Nëse një përçues i gjatë përkulet në disa dredha pranë njëra-tjetrës, në

formë të ngjashme me cilindrin, atëherë kemi një bobinë ose solenoid. Nëse përsëri nëpër solenoid kalojmë një karton mbi të cilin janë shpërndarë bujashka hekuri, do të vërejmë se në brendësi ato renditen në vija paralele me dendësi të njëjtë. Kjo tregon se fusha magnetike jo vetëm që është shumë më e fortë se fusha e një konture rrethore, por edhe se në brendësi të solenoidit ajo është homogjene, përkatësisht ka të njëjtin drejtim, kah dhe madhësi në çdo pikë, siç tregohet në figurën .

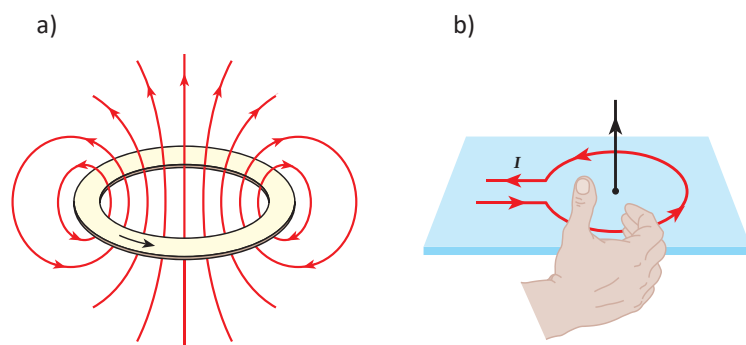


Figura 10. a) Fusha magnetike e rrymës rrethore. b) Kahja e fushës magnetike të rrymës rrethore.

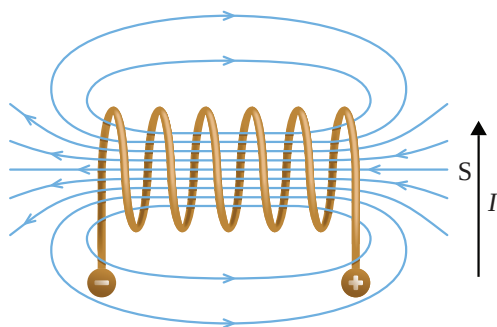


Figura 11. Fusha magnetike e solenoidit

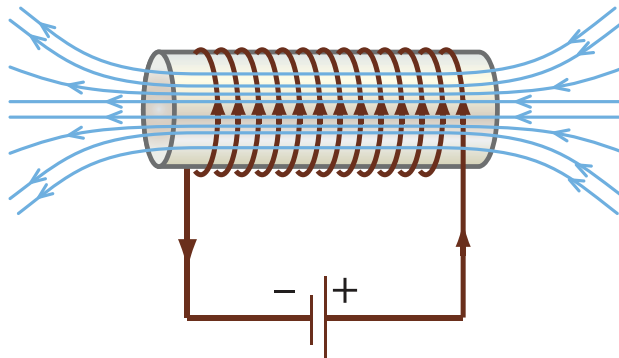


Figura 12. Elektromagneti

Kahja e fushës në solenoid, ngjashëm si te fleta magnetike, përcaktohet me rregullën e dorës së djathtë: kur gishtat përkulen në kahjen e rrjedhjes së rrymës nëpër dredha, gishti i madh tregon polin magnetik të veriut të solenoidit. Solenoidi nëpër të cilin rrjedh rrymë e pandryshueshme sillet si një magnet në formë shufre. Kahu i vijave të forcës magnetike jashtë solenoidit është nga poli magnetik i veriut drejt polit magnetik të jugut, ndërsa brenda solenoidit është nga poli magnetik i jugut drejt polit magnetik të veriut, ngjashëm me vijat e forcës magnetike të magnetit në formë shufre.

Nëse në solenoid vendosim një bërthamë hekuri, fusha magnetike e rrymës forcohet edhe më shumë dhe një magnet të tillë e quajmë elektromagnet. Krahësuar me fushën magnetike të një magneti të përhershëm, fusha magnetike e elektromagnetit mund të kontrollohet me kyçjen, shkyçjen dhe ndryshimin e intensitetit dhe të kahjes së rrymës (figura 12).



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Magnetet e përhershme edhe sot kanë zbatim të gjerë në pajisjet e thjeshta, por revolucioni i vërtetë filloi me zbulimin se fusha magnetike mund të krijohet edhe rreth një përçuesi nëpër të cilin rrjedh rrymë elektrike, përkatësisht gjatë lëvizjes së ngarkesave elektrike. Ky zbulim çoi në zhvillimin e elektromagnetëve, domethënë të magnetëve, fusha magnetike e të cilave mund të aktivizohet, të çaktivizohet ose të përforcohet sipas nevojës, gjë që i bën shumë të përdorshëm në teknikën bashkëkohore. Studimi i dukurive dhe i fushave magnetike hapi sfida të reja në prodhimin e materialeve të reja magnetike artificiale. Sot, magnetet artificiale janë pjesë përbërëse e teknologjisë për ruajtjen dhe përpunimin e të dhënave, e elektroteknikës dhe energjetikës, e komunikacionit dhe transportit, e diagnostikimit mjekësor, e teknologjive kuantike dhe e të gjitha fushave ku kërkohet saktësi më e madhe, përmasa më të vogla, kontroll më i mirë ose efikasitet më i lartë në përdorimin e energjisë.



PYETJE DHE DETYRA

1. Çfarë është busulla?
2. Shpjego çfarë paraqesin vijat e forcës magnetike.
3. Përshkruaj se si mund të vizualizohen vijat e forcës së fushës magnetike me anë të bujashkave të hekurit..
4. Si sillet një fletë magnetike dhe si sillet një solenoid nëpër të cilin rrjedh rrymë?
5. Çfarë përparësish ka elektromagneti në krahasim me magnetet e përhershme?
6. Zgjidh një nga temat e mëposhtme: magnetet artificiale, ruajtja dhe përpunimi i të dhënave, diagnostikimi mjekësor, elektroteknika dhe energjetika, komunikacioni dhe transporti e të tjera, dhe hulumto zbatimin e magnetëve dhe të fushës magnetike në atë fushë.

1.15. Forcat magnetike

Rreth çdo magneti ekziston një fushë magnetike. Eksperimenti i Erstedt tregoi se fushë magnetike ekziston edhe rreth një përçuesi nëpër të cilin rrjedh rrymë elektrike. Tërheqja dhe shtytja e dy magnetëve, rrotullimi i gjilpërës magnetike pranë një magneti në formë shufre ose zhvendosja e gjilpërës magnetike pranë një përçuesi nëpër të cilin rrjedh rrymë, janë shembuj të bashkëveprimit, ndërsa madhësia që shërben si masë e këtij bashkëveprimi është forca. Bashkëveprimi që krijohet për shkak të pranisë së fushës magnetike e quajmë **bashkëveprim magnetik**. Përkatësisht, forcat që e karakterizojnë bashkëveprimin magnetik i quajmë **forca magnetike**. Këto forca, ashtu si forcat elektrike, mund të jenë tërheqëse dhe shtytëse.

Forca e Amperit

Forca që vepron mbi një përçues nëpër të cilin rrjedh rrymë dhe që është vendosur në një fushë magnetike quhet forca e Amperit. Forca e Amperit krijohet si rezultat i bashkëveprimit të fushës magnetike me ngarkesat elektrike që lëvizin në mënyrë të kahëzuar nëpër përçues.



AKTIVITETI 1.

Vendoseni një përçues drejtvizor, i cili është pjesë e një qarku elektrik, ndërmjet poleve të një magneti në formë patkoi, në mënyrë që përçuesi të jetë pingul me vijat e forcës magnetike. Përçuesi varet në hapësirën ndërmjet poleve të magnetit, në mënyrë që efekti të jetë i dukshëm. Nëse nëpër përçues nuk kalon rrymë elektrike, ai qëndron në prehje (figura 1a). Kur nëpër të kalon rrymë, përçuesi zhvendoset në një drejtim të caktuar. Nëse ndryshojmë kahjen e rrymës, përçuesi zhvendoset në kahjen e kundërt.

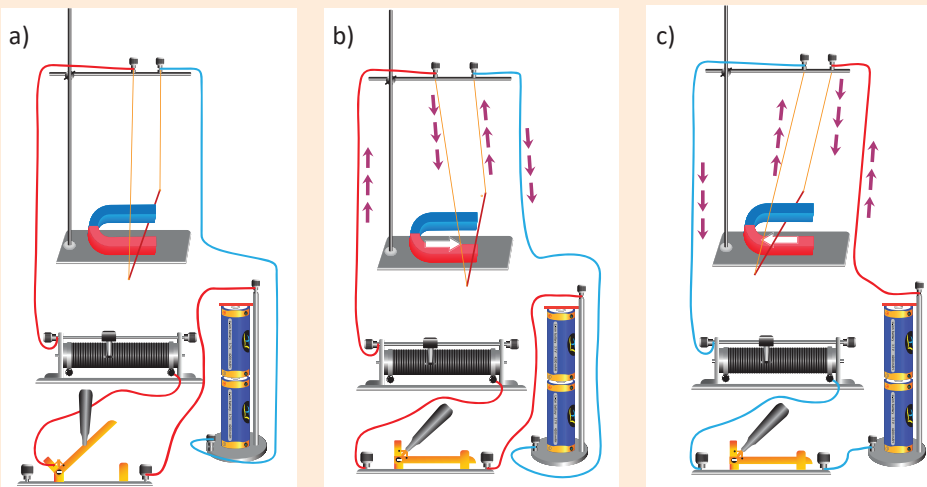


Figura 1. Forca e Amperit:

- a)** Nëpër përçues nuk kalon rrymë
- b)** Rryma nëpër përçues kalon në një kahje
- c)** Rryma nëpër përçues kalon në kahjen e kundërt

Fakti që vërejmë zhvendosjen e përçuesit tregon se mbi të vepron një forcë. Në mënyrë eksperimentale është vërtetuar se forca që vepron mbi përçuesin është në përpjesëtim të drejtë me intensitetin e rrymës që rrjedh nëpër të, gjatësinë e përçuesit që ndodhet në fushën magnetike dhe nga një madhësi karakteristike e fushës magnetike. Konstanta e proporcionalitetit është karakteristikë e fushës magnetike dhe zakonisht shënohet me B . Madhësia e forcës së Amperit, kur fusha magnetike formon kënd të drejtë me përçuesin, është:

$$F_A = B \cdot I \cdot l,$$

ku I është intensiteti i rrymës nëpër përçues, ndërsa l është gjatësia e përçuesit që ndodhet në hapësirën ku ekziston fusha magnetike.

Madhësia fizike B quhet induksion magnetik dhe është karakteristikë e fushës magnetike. Ajo është madhësi vektoriale, që do të thotë se ka madhësi, drejtim dhe kahje. Në përgjithësi, drejtimi i vektorit B

është përgjatë tangjentes së vijave të forcës magnetike në një pikë të dhënë, ndërsa kahja e tij është e njëjtë me kahjen e vijave të forcës magnetike. Madhësia e induksionit magnetik mund të përcaktohet në mënyrë të tërthortë, përkatësisht nëpërmjet madhësisë së forcës së Amperit, me të cilën fusha magnetike vepron mbi një përçues ku rrjedh rrymë, të vendosur pingul me vijat e forcës magnetike. Duke u nisur nga ekuacioni i forcës së Amperit:

$$B = \frac{F_A}{I \cdot l},$$

mund të përfundojmë se madhësia e induksionit magnetik është numerikisht e barabartë me madhësinë e forcës së Amperit që vepron mbi një përçues me gjatësi $l = 1\text{ m}$ nëpër të cilin rrjedh rrymë me intensitet $I = 1\text{ A}$, nëse përçuesi është vendosur pingul me vijat e forcës magnetike. Njësia matëse e induksionit magnetik është tesla (T), e emërtuar sipas shkencëtarit të madh Nikolla Tesla.

Nga formula e mësipërme mund të përfundojmë se $1\text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$.

Nëse përçuesi nuk është vendosur pingul me induksionin magnetik, por formon një kënd α me vijat e forcës magnetike, atëherë merret parasysh vetëm komponenta e B që është pingule me përçuesin:

$B_{\perp} = B \cdot \sin \alpha$. Në këtë rast, forca e Amperit llogaritet me formulën:

$$F_A = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha,$$

e cila është formula më e përgjithshme për llogaritjen e forcës së Amperit. Nga kjo formulë rrjedh $F_A = B \cdot I \cdot l$, nëse marrim se përçuesi është vendosur nën kënd të drejtë ndaj drejtimit të vektorit të induksionit magnetik ($\alpha = 90^\circ$). Nëse përçuesi është paralel me vektorin e induksionit magnetik ($\alpha = 0^\circ$), mbi të nuk vepron forca e Amperit.

Forca e Amperit është gjithmonë pingule si me përçuesin, ashtu edhe me vektorin e induksionit magnetik. Kahja e forcës së Amperit përcaktohet me rregullën e dorës së majtë të Flemingut: nëse tre gishtat e dorës së majtë i vendosim pingul me njëri-tjetrin, në mënyrë që gishti tregues të tregojë kahjen e induksionit magnetik dhe gishti i mesit të tregojë kahjen e rrjedhjes së rrymës, atëherë gishti i madh do të tregojë kahjen e forcës së Amperit (figura 2).

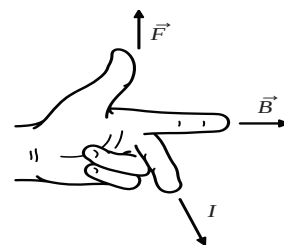


Figura 2. Rregulla e dorës së majtë të Flemingut



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një përçues, nëpër të cilin rrjedh rrymë me intensitet $2,8\text{ A}$, është vendosur pjesërisht në një fushë magnetike me induksion $0,5\text{ T}$, siç tregohet në figurë. Pjesa e drejtë e përçuesit (pjesa nga A-ja deri te B-ja), e cila ndodhet në hapësirën ku ekziston fusha magnetike, ka gjatësi 12 cm . Llogarit madhësinë e forcës së Amperit që vepron mbi përçuesin dhe përcakto drejtimin dhe kahjen e saj.

Të dhënat:

$I = 2,8\text{ A}$, $B = 0,5\text{ T}$,
 $l = 12\text{ cm} = 0,12\text{ m}$



Kërkohe:

$F = ?$ drejtimi dhe kahja e forcës

Zgjidhje:

CSipas vizatimit, vektori i induksionit magnetik është pingul me përçuesin, ndërsa shenja $\otimes$ tregon se kahja e vektorit B është nga ne drejt fletës. Nga vizatimi shihet gjithashtu se kahja e rrymës nëpër përçues është nga A-ja drejt B-së. Sipas ligjit të Amperit, $F = B \cdot I \cdot l$, për madhësinë e forcës fitojmë $F = 0,17\text{ N}$.

Dimë se vektori i forcës $\vec{F}$ duhet të jetë pingul si me vektorin $\vec{B}$ ashtu edhe me përçuesin AB. Në përputhje me rregullën e dorës së majtë të Flemingut, forca do të veprojë në rrafshin e fletës me kahje lart.

Fluksi magnetik

Në çdo pikë të hapësirës, induksioni magnetik $\vec{B}$ ka madhësi, drejtim dhe kahje të caktuar. Në disa raste, në vend të vlerës së induksionit magnetik në një pjesë të hapësirës, më i rëndësishëm është numri i vijave të forcës magnetike që kalojnë nëpër një sipërfaqe të caktuar, siç janë korniza drejtkëndore, bobina ose fleta magnetike. Për këto arsye është përcaktuar madhësia fizike, fluksi magnetik. Nëse një sipërfaqe e dhënë vendoset pingul me vektorin e induksionit magnetik, siç tregohet në figurën 3a, atëherë fluksi magnetik llogaritet me formulën:

$$\Phi = B \cdot S,$$

ku $\vec{B}$ është induksioni magnetik, ndërsa S është sipërfaqja e dhënë (figura 3a). Në rastin e përgjithshëm, kur vektori $\vec{B}$ dhe normalja e sipërfaqes $\vec{n}$ formojnë këndin α , mund të konsiderojmë se induksioni magnetik ka dy komponentë. Komponenti i parë është pingul me sipërfaqen (ose paralele me normalen e sipërfaqes) dhe shënohet me B_n , ndërsa komponenti i dytë është paralel me sipërfaqen nëpër të cilën përcaktojmë fluksin (ose pingule me normalen e rrafshit) dhe shënohet me B_p (figura 3b). Madhësitë e këtyre komponentëve janë:

$$B_n = B \cdot \cos \alpha \text{ dhe } B_p = B \cdot \sin \alpha.$$

Në fluksin magnetik ndikon vetëm komponenti i vektorit $\vec{B}$ që është pingul me sipërfaqen (paralel me normalen ndaj sipërfaqes), përkatësisht $B_n = B \cdot \cos \alpha$. Kur vektori i induksionit magnetik formon një kënd të caktuar me normalen e sipërfaqes, fluksi magnetik llogaritet me formulën:

$$\Phi = B_n \cdot S = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Nëse rrafshi është vendosur paralel me vektorin e induksionit magnetik, asnjë vijë e forcës magnetike nuk e pret sipërfaqen dhe $\Phi = 0$ (figura 3c).

Njësia themelore e fluksit magnetik është veber (Wb). Ajo fitohet nga formula e fluksit magnetik:

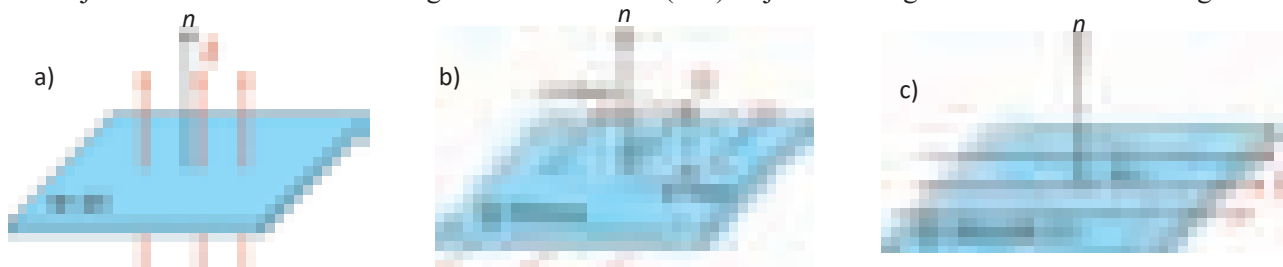


Figura 3. Fluksi magnetik: a) $\alpha = 0^\circ$, b) $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, c) $\alpha = 90^\circ$.

$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m}^2$. Fluksi magnetik nëpër një sipërfaqe të dhënë është 1Wb, kur vijat e forcës së fushës magnetike me induksion 1T kalojnë nëpër një sipërfaqe prej 1m² të vendosur pingul me vektorin e induksionit magnetik.

Forca e Amperit ndërmjet dy përçuesve paralelë

Fusha magnetike rreth një përçuesi të drejtë, nëpër të cilin rrjedh rrymë, është johomogjene. Me largimin nga përçuesi, induksioni magnetik zvogëlohet. Formula për madhësinë e induksionit magnetik në një pikë që ndodhet në largësinë r nga një përçues i drejtë me gjatësi të pafundme, nëpër të cilin rrjedh rrymë me intensitet I , është:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$$

ku konstanta e proporcionalitetit μ_0 , e quajtur **permeabiliteti magnetik i vakuumit**, ka vlerën:

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{T} \cdot \text{m}}{\text{A}},$$

Nëse një përçues nëpër të cilin rrjedh rrymë krijon fushë magnetike, atëherë logjikisht shtrohet pyetja: Çfarë ndodh nëse dy përçues të drejtë, nëpër të cilët rrjedh rrymë, vendosen paralelisht pranë njëri-tjetrit? Njohuritë e deritanishme tregojnë se ndërmjet tyre do të shfaqet bashkëveprim dhe në përputhje me ligjin e tretë të Njutonit, mbi secilin prej tyre do të veprojë një forcë magnetike.

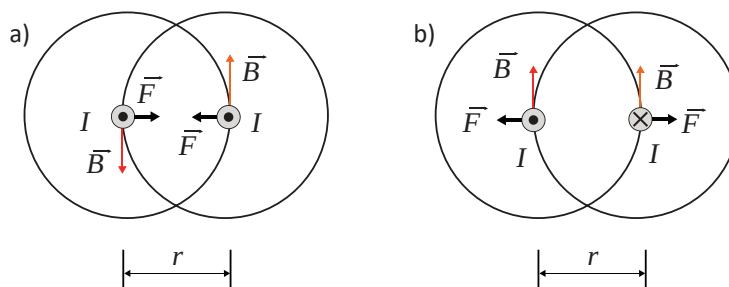


Figura 4. Dy përçues paralelë:

a) Rryma rrjedh në të njëjtën kahje.

b) Rryma rrjedh në kahje të kundërta.

Të shqyrtojmë dy përçues të gjatë dhe të drejtë, të vendosur paralelisht pranë njëri-tjetrit në largësinë r . Në figurën 4, ata janë vendosur pingul me rrafshin e fletës. Shqyrtojmë dy raste: kur nëpër ta rrjedhin rryma me kahje të njëjtë (nga fleta drejt nesh), figura 4a, dhe kur nëpër ta rrjedhin rryma me kahje të kundërta, figura 4b.

Secili përçues ndodhet në fushën magnetike të krijuar nga përçuesi tjetër. Vijat e forcës magnetike pranë përçuesit të parë janë rrrathë koncentrikë dhe e presin përçuesin tjetër nën kënd të drejtë. Me anë të rregullës së dorës së majtë të Flemingut mund të përcaktojmë kahjen e forcës së Amperit që vepron mbi të dy përçuesit në të dyja rastet. Nga analiza e figurës 4 mund të përcaktohet se dy përçues paralelë nëpër të cilët rrjedhin rryma me kahje të njëjtë tërhiqen, ndërsa dy përçues paralelë nëpër të cilët rrjedhin rryma me kahje të kundërta, shtyhen.

Duke zëvendësuar shprehjen e induksionit magnetik të një përçuesi të drejtë në formulën e forcës së Amperit, fitojmë:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} l$$

Kjo është formula për forcën me të cilën bashkëveprojnë dy përçues të drejtë me gjatësi l , nëpër të cilët rrjedhin rryma me intensitete I_1 dhe I_2 dhe janë të vendosur në largësinë r nga njëri-tjetri në vakuum.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Dy përçues të gjatë, të drejtë dhe paralelë janë vendosur në largësinë 30cm nga njëri-tjetri. Nëpër përçuesin e parë rrjedh rrymë me intensitet tri herë më të madh se intensiteti i rrymës nëpër përçuesin e dytë. Madhësia e forcës së Amperit që vepron mbi përçuesit është $1,5 \cdot 10^{-7}$ N. Përcakto intensitetet e rrymave që rrjedhin nëpër të dy përçuesit, nëse ata ndodhen në vakuum.

Të dhënat:

$$r = 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m},$$

$$\frac{F}{l} = 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ N/m},$$

$$I_1 = 3I_2$$

Kërkohet:

$$I_1 = ?, \quad I_2 = ?$$

Zgjidhje:

Për dy përçues të gjatë paralelë vlen:

$$\frac{F}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

$$\text{Nga kjo fitojmë : } I_1 I_2 = \frac{2\pi r F}{\mu_0 l} = \frac{2\pi \cdot 0,30}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} \text{ N/m} = 0,225 \text{ A}^2$$

Meqenëse $I_1 = 3I_2$:

$$I_1 I_2 = 3I_2^2 = 0,225 \Rightarrow I_2^2 = 0,075 \Rightarrow I_2 = 0,274 \text{ A}$$

$$I_1 = 3I_2 = 3 \cdot 0,274 = 0,822 \text{ A}.$$

Forca e Lorencit

Rryma elektrike në një përçues metalik paraqet lëvizjen e kahëzuar të elektroneve të lira nëpër të. Nëse një përçues, nëpër të cilin nuk rrjedh rrymë, vendoset në një fushë magnetike, mbi të nuk vepron forca e Amperit, megjithëse në të ka elektrone të lira që lëvizin në mënyrë të çrregullt. Kjo na çon në përfundimin se ekzistenca e forcës së Amperit nuk është pasojë e pranisë së përçuesit, por e lëvizjes së kahëzuar të elektroneve në të. Me fjalë të tjera, kjo do të thotë se rreth çdo ngarkese elektrike që lëviz në mënyrë të kahëzuar krijohet një fushë magnetike. Forca magnetike me të cilën fusha magnetike vepron mbi një ngarkesë elektrike që lëviz në të quhet **forca e Lorencit**.

Në të vërtetë, forca e Amperit me të cilën fusha magnetike vepron mbi një përçues është shuma e forcave me të cilat fusha magnetike vepron mbi secilin elektron që lëviz nëpër përçues. Forca me të cilën fusha magnetike vepron mbi ngarkesat elektrike që lëvizin quhet forca e Lorencit. Formula për llogaritjen e madhësisë së forcës së Lorencit (F_L) mund të nxirret nga formula e forcës së Amperit.

Në formulën e forcës së Amperit $F_A = B \cdot I \cdot l$, intensitetin e rrymës e shprehim nëpërmjet numrit të përgjithshëm të elektroneve të lira në përçues N , përkatësisht: $I = \frac{Ne}{t}$.

Elektronet, duke lëvizur me shpejtësi v gjatë kohës t , përshkojnë rrugën l , e cila është e barabartë me gjatësinë e përçuesit që ndodhet në fushën magnetike.

Në këtë rast vlen $t = \frac{l}{v}$, prandaj fitojmë

$$F_A = NevB.$$

Formula e fundit tregon se mbi një elektron me ngarkesë e i cili lëviz me shpejtësi v në një fushë me induksion magnetik B do të veprojë forca:

$$F_L = Bev.$$

Nëse grimca që lëviz në fushën magnetike ka ngarkesë q dhe lëviz me shpejtësi v që është pingul me induksionin magnetik, atëherë mbi të do të veprojë forca e Lorencit:

$$F_L = qvB.$$

Në rastin e përgjithshëm, kur drejtimi i shpejtësisë së një grimce të ngarkuar formon një kënd α , me induksionin magnetik, madhësia e forcës së Lorencit është:

$$F_L = qvB \cdot \sin \alpha.$$

Kahja e forcës së Lorencit përcaktohet me rregullën e dorës së majtë të Flemingut. Nëse tre gishtat e dorës së majtë i vendosim pingul me njëri-tjetrin, në mënyrë që gishti tregues të tregojë kahjen e induksionit magnetik dhe gishti i mesit të tregojë kahjen e shpejtësisë së grimcës me ngarkesë pozitive, atëherë gishti i madh do të tregojë kahjen e forcës së Lorencit. Për një grimcë me ngarkesë negative përdorim të njëjtën rregull, por kahja e forcës do të jetë e kundërt me kahjen që tregon gishti i madh.

Forca e Lorencit është gjithmonë pingul me vektorin e shpejtësisë dhe me vektorin e induksionit magnetik të fushës. Meqenëse forca e Lorencit është njëkohësisht pingule me fushën magnetike dhe me shpejtësinë e grimcës së ngarkuar, ajo do ta lakojë vazhdimisht trajektoren e grimcës, prandaj grimca do të lëvizë në një rreth.

Në këtë rast, grimca lëviz me nxitim centripetal, ndërsa forca e Lorencit është shkaku i këtij nxitimi. Prandaj, mund të shkruajmë:

$$qvB = \frac{mv^2}{r}.$$

prej ku fitohet shprehja për rrezen e rrethit nëpër të cilin do të lëvizë grimca. $r = \frac{mv}{qB}$

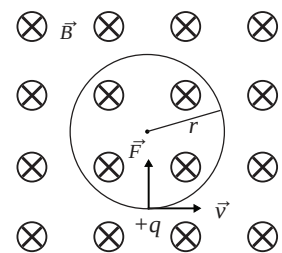


Figura 5. Forca e Lorencit

Nëse përdorim lidhjen ndërmjet shpejtësisë lineare dhe asaj këndore, për periodën e qarkullimit të grimcës fitojmë:

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Një jon i deuteriumit përshpejtohet me tension 600 V. Masa e jonit është $3,34 \cdot 10^{-27}$ kg. Më pas, joni i deuteriumit hyn pingul me vijat e forcës në një fushë magnetike homogjene me induksion magnetik 0,40 T. Përcakto rrezen e rrethit nëpër të cilin lëviz joni në fushën magnetike. Ngarkesa e jonit të deuteriumit është: $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C.

Të dhënat:

$$U = 600 \text{ V},$$

$$B = 0,40 \text{ T},$$

$$m = 3,34 \cdot 10^{-27} \text{ kg},$$

$$e = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Kërkohet:

$$r = ?$$

Zgjidhje:

Joni përshpejtohet nga tensioni dhe fiton energji kinetike:

$$qU = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

Në fushën magnetike homogjene (hyn pingul) ai lëviz nëpër

$$\text{një rreth: } r = \frac{mv}{qB}$$

për rrezen e rrethit fitojmë:

$$r = \frac{m}{qB} \sqrt{\frac{2qU}{m}} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}} = 1,25 \text{ cm}.$$

Zbatimi i forcave magnetike

Zbulimet dhe hulumtimet e forcave magnetike bënë që fusha magnetike, nga një realitet fizik abstrakt dhe i paarritshëm për shqisat tona, të fitonte zbatim praktik dhe të bëhej pjesë e jetës sonë të përditshme. Parimi i punës së shumë pajisjeve bazohet në veprimin e forcave magnetike. Pajisje të tilla janë: motori elektrik, gjeneratori, tubi katodik dhe osciloskopi, përshpejtuesit e grimcave (akseleratorët), spektrometrat e masës, mikrofonat dhe altoparlantët, pajisjet për diagnostikim mjekësor, për ruajtjen dhe leximin e të dhënave e të tjera.

Ciklotroni si përshpejtues i grimcave

Ciklotroni është një lloj akseleratori, përkatësisht pajisje për përshpejtimin e grimcave të ngarkuara duke përdorur një fushë magnetike homogjene dhe një fushë elektrike të ndryshueshme. Ai përbëhet nga dy elektroda gjysmërrethore të zbrazëta, në formën e shkronjës D, të vendosura në vakuum dhe të lidhura me një burim të rrymës alternative me frekuencë të lartë. I gjithë sistemi

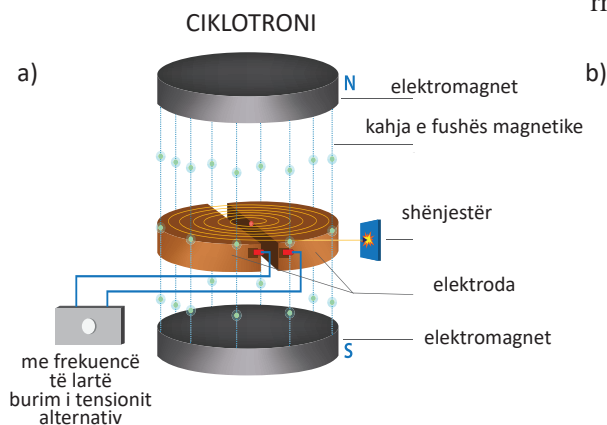


Figura 6. a) Paraqitja skematike e ndërtimit të ciklotronit. b) Trajektorja e një grimce të përshpejtuar në ciklotron

ndodhet në fushën magnetike homogjene të një elektromagneti të fuqishëm. Drejtimi i induksionit magnetik është pingul me rrafshin e elektrodave. Roli i fushës magnetike që krijon elektromagneti është vetëm të ndryshojë drejtimin e shpejtësisë së grimcës së ngarkuar, për shkak

të veprimit të forcës së Lorencit. Përshpejtimi i grimcës ndodh vetëm në hapësirën ndërmjet elektrodave gjysmërrethore, nën veprimin e fushës elektrike, kahjen e së cilës e ndryshon periodikisht burimi i rrymës alternative me frekuencë të lartë. Brenda pjesëve të zbraza të elektrodave nuk ka fushë elektrike, prandaj shpejtësia e grimcës mbetet konstante ndërsa ajo lëviz në brendësi të secilës elektrode. Frekuenca e tensionit alternativ është e tillë që, sa herë që grimca hyn në hapësirën ndërmjet elektrodave, fusha elektrike e ndryshon kahjen. Me çdo kalim nëpër këtë hapësirë, grimca fiton energji kinetike shtesë.

Me rritjen e shpejtësisë rritet edhe rrezja e rrethit nëpër të cilin lëviz grimca, $r = \frac{mv}{Bq}$, ndërsa trajektorja zgjerohet gradualisht duke formuar një spirale. Kur grimca fiton energji të mjaftueshme dhe trajektorja e saj arrin rrezen e nevojshme, ajo kahëzohet jashtë ciklotronit

Elektromotori

Të gjitha pajisjet elektrike në shtëpi, veglat elektrike, makinat industriale, ashensorët, pompat, automjetet elektrike dhe hibride, ventilatorët dhe disqet e kompjuterit vihen në lëvizje nga një motor elektrik ose **elektromotor**. Në të, energjia elektrike shndërrohet në punë të dobishme mekanike. Parimi themelor i punës bazohet në veprimin e forcës magnetike mbi një kornizë, përkatësisht mbi një bobinë nëpër të cilën rrjedh rrymë (figura 7). Pavarësisht nëse motori punon me rrymë njëkahëshe ose alternative, parimi është i njëjtë.

Çdo motor përbëhet nga një sistem i palëvizshëm (statori), të cilin e përbëjnë magnetet e përhershme, trupi i motorit dhe furçat, si dhe nga një pjesë e lëvizshme (rotori), e përbërë nga bobina dhe boshti që e transmeton rrotullimin. Magnetet e palëvizshme krijojnë fushë magnetike. Mbi bobinën nëpër të cilën rrjedh rrymë vepron forca e Amperit, me ç'rast krijohet një çift forcash që shkakton moment rrotullues. Bobina rrotullohet dhe kjo lëvizje, nëpërmjet boshtit të motorit, transmetohet te pajisja. Motorët me rrymë njëkahëshe kanë edhe komutator, i cili e ndryshon kahjen e rrymës gjatë çdo gjysmërrotullimi të bobinës.

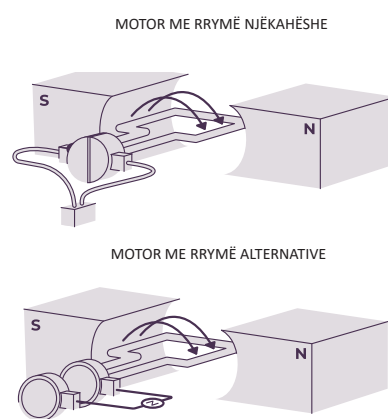


Figura 7. Paraqitja skematike e elektromotorit me rrymë njëkahëshe dhe alternative



MËSO MË SHUMË

1. Induksioni magnetik i fletës magnetike dhe i solenoidit

Kur një përçues elektrik përkulet në formë rrethi dhe nëpër të rrjedh rrymë elektrike, krijohet një fushë magnetike që është simetrike ndaj rrethit. Këtë konturë rrethore me rrymë e quajmë fletë magnetike. Në qendër të rrethit, induksioni magnetik ka vlerën më të madhe, sepse kontributet e të gjitha pjesëve të përçuesit kanë të njëjtën kahje. Induksioni magnetik në qendër të fletës magnetike me rreze R , nëpër të cilën rrjedh rrymë me intensitet I , përcaktohet me shprehjen:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}.$$

Nëse përçuesi rrethor vazhdohet në një numër të madh dredhash të vendosura pranë njëra-tjetrës, fitohet një solenoid. Në brendësi të një solenoidi të gjatë, fusha magnetike është përafërsisht homogjene, prandaj induksioni magnetik ka të njëjtin drejtim, kahje dhe madhësi në çdo pikë. Induksioni magnetik në brendësi të një solenoidi ideal dhe të gjatë përcaktohet me formulën:

$$B = \mu_0 nI = \mu_0 \frac{N}{l} I,$$

ku N është numri i përgjithshëm i dredhave, l është gjatësia e solenoidit, ndërsa n është numri i dredhave për njësi të gjatësisë. Jashtë solenoidit, induksioni magnetik është shumë i vogël dhe zakonisht nuk merret parasysh. Solenoidi nëpër të cilin rrjedh rrymë e pandryshueshme, sipas veprimit të tij, sillet ngjashëm me një magnet në formë shufre.

2. Forca elektromotore e induktuar

Forca elektromotore e induktuar shfaqet në një konturë të mbyllur prej përçuesi kur ndryshon fluksi magnetik. Kjo dukuri u zbulua nga Majkëll Faradej dhe njihet si induksion elektromagnetik. Ndryshimi i fluksit magnetik mund të ndodhë nëse magneti lëviz në raport me konturën e mbyllur, nëse kontura lëviz në fushën magnetike ose nëse ndryshon intensiteti i fushës magnetike. Si pasojë, në qark shfaqet forca elektromotore e induktuar, e cila mund të llogaritet me ekuacionin:

$$\mathcal{E}_{\text{ind}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BS \cos\alpha)}{\Delta t}.$$

Madhësia e forcës elektromotore të induktuar varet nga shpejtësia e ndryshimit të fluksit magnetik. Sa më shpejt të ndryshojë fluksi magnetik, aq më e madhe është FEM-ja e induktuar. Kahja e rrymës së induktuar është e tillë që ajo i kundërvihet shkakut që ka sjellë ndryshimin e fluksit magnetik. Kjo njihet si rregulla e Lencit. Për shembull, nëse një magnet afrohet pranë konturës, fluksi magnetik nëpër të rritet. Rryma që induktohet në kornizë do të ketë një kahje të tillë që fusha magnetike e krijuar prej saj të synojë ta zvogëlojë rritjen e fluksit.

Forca elektromotore e induktuar ka rëndësi shumë të madhe praktike, sepse përbën bazën e funksionimit të gjeneratorëve të energjisë elektrike, transformatorëve dhe shumë pajisjeve të tjera elektrike. Falë induksionit elektromagnetik, energjia mekanike mund të shndërrohet në energji elektrike, gjë që e bën këtë dukuri thelbësore për teknikën bashkëkohore dhe jetën e përditshme.



SHKENCËTAR I NJOHUR

Nikolla Tesla (1856–1943) është një nga shpikësit dhe shkencëtarët më të rëndësishëm në historinë e elektroteknikës dhe të fizikës. Ai lindi në Smiljan, në Perandorinë e atëhershme Austriake, në territorin e Kroacisë së sotme, në një familje serbe. U arsimua në Evropë para se të shpërngulej në Shtetet e Bashkuara të Amerikës. Që në moshë të re shfaqti talent të jashtëzakonshëm për matematikë, fizikë dhe inxhinieri, si dhe aftësi të pazakontë për t'i vizualizuar idetë e ndërlikuara teknike. Kjo i mundësonte të projektonte pajisje pa vizatime klasike.

Kontributi më i madh i Nikolla Tesllës lidhet me zhvillimin e rrymës alternative dhe të sistemeve shumëfazore elektroenergjetike, të cilat sot përbëjnë bazën e prodhimit dhe të transmetimit bashkëkohor të energjisë elektrike. Ai zbuloi parimin e fushës magnetike rrotulluese, ndërtoi motorin me induksion dhe dha kontribut vendimtar në zhvillimin e transformatorëve, gjeneratorëve dhe linjave të transmetimit. Zgjidhjet e tij mundësuan transmetimin efikas të energjisë elektrike në largësi të mëdha dhe kapërcyen kufizimet teknike të sistemeve me rrymë njëkrahëshe.

Përveç elektroenergjetikës, Tesla punoi edhe në komunikimin pa tela, radioteknikë, rrymat me frekuencë të lartë dhe eksperimentet me valë elektromagnetike. Gjatë jetës nuk mori gjithmonë vlerësimin e merituar, idetë e tij u përvetësuan nga shkencëtarë të tjerë dhe shpesh u përball me vështirësi financiare. Vepra e tij pati ndikim shumë të madh në zhvillimin e teknologjisë moderne. Sot, Nikolla Tesla konsiderohet vizionar, i cili me idetë e tij hapi rrugën drejt qytetërimit bashkëkohor.





PYETJE DHE DETYRA

1. Si mund të zbulohet në mënyrë eksperimentale fusha magnetike pa përdorur gjilpërë magnetike ose bujashka hekuri?
2. Pse një përçues i drejtë, i vendosur paralelisht me vijat e forcës magnetike, nuk zhvendoset megjithëse nëpër të rrjedh rrymë?
3. Si do të ndryshojnë trajektoret e një elektroni dhe të një protoni që hyjnë me shpejtësi të njëjtë në të njëjtën fushë magnetike?
4. Nëpër dy përçues të gjatë, të drejtë dhe paralelë të vendosur në largësinë 0,60 m, nga njëri-tjetri, rrjedh rrymë elektrike me intensitet të njëjtë prej 8 A, por me kahje të kundërt. Përcakto induksionin magnetik në pikën që ndodhet saktësisht në mes të dy përçuesve. (Zgjidhje: $1,07 \cdot 10^{-5} \text{T}$)
5. Mbi dy shina horizontale metalike, të larguara 25 cm nga njëra-tjetra, qëndron një përçues metalik me masë 0,60 kg. Shinat ndodhen në një fushë magnetike homogjene vertikale me induksion magnetik 0,40 T. Sa duhet të jetë intensiteti i rrymës që rrjedh nëpër përçues që ai të fillojë të lëvizë, nëse koeficienti i fërkimit ndërmjet përçuesit dhe shinave është 0,12? (Zgjidhje: 7, 1A)
6. Një elektron hyn në një fushë magnetike homogjene, pingul me vijat e forcës. Shpejtësia e elektronit gjatë hyrjes në fushë është $2,0 \cdot 10^6 \text{ m/s}$. ndërsa induksioni magnetik i fushës është $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ T}$

Përcakto:

- a) formën dhe rrezen e trajektores së elektronit;
- b) kohën që elektroni kalon në fushën magnetike;
- c) a ndryshojnë shpejtësia dhe energjia kinetike e elektronit gjatë lëvizjes nëpër fushën magnetike. Arsyejoje përgjigjen.

Masa e elektronit është $9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, ndërsa ngarkesa e tij elektrike është $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
(Zgjidhje: 7,1 mm; $2,23 \cdot 10^{-8} \text{s}$)

1.16. Vetitë magnetike të materialeve

Çdo substancë ka mikrostrukturën e vet karakteristike. Vetitë e saj magnetike, përveç përbërjes dhe mikrostrukturës, varen edhe nga kushtet e jashtme, si temperatura, përpunimi i materialit, sforcimet dhe deformimet mekanike, si dhe historia magnetike e tij, përkatësisht nëse më parë ka qenë i ekspozuar ndaj një fushe magnetike. Rreth dyqind vjet më parë, Majkëll Faradej zbuloi se të gjitha materialet shfaqin veti magnetike. Ato e shfaqin këtë sjellje magnetike në mënyra të ndryshme dhe me intensitet të ndryshëm bashkëveprimi me fushën magnetike në të cilën vendosen. Vetitë magnetike të një materiali përcaktojnë se si do të silllet ai kur ndodhet në një fushë magnetike ose kur afrohet pranë një magneti. Këto veti kanë rëndësi të madhe në fizikë, teknikë dhe në jetën e përditshme, sepse prej tyre varet nëse materiali do të tërhiqet, do të shtyhet ose pothuajse nuk do të bashkëveprojë fare me fushën magnetike.

Thënë më thjesht, vetitë magnetike të një materiali të dhënë përshkruajnë mënyrën se si fusha magnetike depërton nëpër material dhe se si materiali e ndryshon atë, përkatësisht nëse e përforcon, e dobëson ose nuk e ndryshon fare. Kur një material ndodhet në një fushë magnetike, në të mund të shfaqet magnetizimi, dukuri gjatë së cilës materiali shfaq sjellje magnetike që mund të jetë e përkohshme ose e përhershme. Procesin nëpër të cilin kalon materiali kur vendoset në një fushë magnetike e quajmë proces të magnetizimit.



AKTIVITETI 1.

Merr rreth dhjetë kapëse letrash dhe kontrollo që ato nuk tërhiqen dhe as nuk shtyhen ndërmjet tyre. Në vend të kapëseve mund të përdorësh edhe gozhda të vogla hekuri. Merr një magnet në formë shufre, një magnet në formë patkoi ose një elektromagnet. Afroje ngadalë njërin pol të magnetit pranë kapëseve, pa i prekur ato. Çfarë vëren? A është bashkëveprimi tërheqës apo shtytës? A është bashkëveprimi me kontakt apo pa kontakt? Tani merr kapëse të tjera (ose gozhda hekuri) dhe përsërite procedurën duke afruar polin tjetër të magnetit. A është forca tërheqëse apo shtytëse në këtë rast?

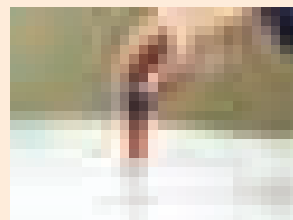


Figura 1.

Magnetizimi i objekteve

Fusha magnetike e një magneti të caktuar mund ta ndryshojë gjendjen e disa materialeve që ndodhen pranë tij ose, siç themi, mund t'i magnetizojë ato. Kur afrojmë një magnet pranë një objekti të prodhuar nga material magnetik, objekti magnetizohet, njësoj si kapëset ose gozhdat prej hekuri. Në këtë mënyrë, edhe objekti shndërrohet në magnet, ndërsa në skajin e tij më të afërt krijohet poli i kundërt me polin e magnetit, gjë që shkakton tërheqjen e tyre. Pavarësisht se cilin pol të magnetit afrojmë pranë objektit, pas magnetizimit të tij, forca magnetike ndërmjet tyre është tërheqëse.

Shkaqet e vetive magnetike të materialeve

Megjithëse magnetizmi si dukuri vërehet në nivel makroskopik, në formën e forcës së bashkëveprimit, shkaqet e vetive magnetike të materialeve duhet të kërkohen në nivel mikroskopik, përkatësisht atomik. Vetitë magnetike burojnë nga struktura mikroskopike e materialeve, më saktësisht nga sjellja e elektroneve në atome dhe nga bashkëveprimi ndërmjet atomeve. Duke hulumtuar shkaqet e vetive magnetike të materialeve, shkencëtarët arritën të shpjegojnë pse disa materiale janë shumë magnetike, disa reagojnë dobët ndaj fushës magnetike, ndërsa disa të tjera nuk shfaqin aspak efekte magnetike të dukshme.

Para se të zbulohet elektroni dhe para se të paraqiteshin idetë për modelet e atomit, Amperi supozoi se në nivel mikroskopik ekzistojnë rryma elementare ose „rryma molekulare“. Sipas tij, këto janë rryma të mbyllura, të ngjashme me rrymën në një fletë magnetike, të cilat krijojnë fushë magnetike. Hipoteza për këto rryma lidhet me faktin se rreth çdo përçuesi nëpër të cilin rrjedh rrymë ekziston një fushë magnetike.

Sipas njohurive të sotme, çdo atom përbëhet nga bërthama dhe nga elektronet që lëvizin rreth saj. Elektroni që lëviz nëpër një trajektore rrethore paraqet një dipol magnetik, njësoj si çdo magnet me dy pole, polin e veriut dhe polin e jugut. Shembull i dipolit është edhe fleta magnetike (përçuesi rrethor nëpër të cilin rrjedh rrymë). Çdo dipol krijon fushën e vet magnetike. Vetitë e dipolit përshkruhen nëpërmjet madhësisë vektoriale të quajtur moment magnetik:

$$\vec{P} = I \cdot \vec{S}$$

prodhimi i intensitetit të rrymës (I) me sipërfaqen e rrethuar nga rryma (S). Çdo atom, për shkak të lëvizjes së elektroneve rreth bërthamës, paraqet një dipol të vogël me moment magnetik, të cilin e quajmë moment magnetik orbital. Përveç kësaj, elektroni ka spin, përkatësisht një veti që, ashtu si masa dhe ngarkesa elektrike, është karakteristikë e tij e brendshme. Spinin mund ta përfytyrojmë si rrotullim të grimcës rreth boshtit të vet. Për shkak të spinin, elektroni ka edhe moment magnetik të spinin. Atomi, si tërësi, ka një moment magnetik, në formimin e të cilit marrin pjesë momenti magnetik orbital dhe momenti magnetik i spinin. Momenti magnetik i atomit krijon fushë magnetike, prandaj mund të konsiderojmë se ai sillet si një magnet elementar (magnet i vogël). Mënyra se si këta magnet të vegjël orientohen ndërmjet tyre, si dhe radhitja e tyre në një fushë magnetike të jashtme, përcaktojnë natyrën magnetike të materialit.

Permeabiliteti magnetik relativ

Pamë se induksioni magnetik dhe fluksi magnetik janë madhësi që përshkruajnë fushën magnetike në hapësirë. Kur fusha magnetike krijohet në vakum, induksionin magnetik të saj e shënojmë me B_0 . Nëse e njëjta fushë krijohet në të njëjtën mënyrë në një mjedis tjetër material, induksioni magnetik në material do të ketë vlerë të ndryshme nga ai në vakum. Induksionin magnetik të fushës në material e shënojmë me B . Meqenëse mjedisi material e ndryshon fushën në hapësirë, ai ka një veti magnetike karakteristike. Për përshkrimin e kësaj vetie përcaktojmë madhësinë fizike permeabiliteti magnetik relativ μ_r , e cila përkufizohet si raporti ndërmjet induksionit magnetik të fushës në material dhe induksionit magnetik të së njëjtës fushë në vakum:

$$\mu_r = \frac{B}{B_0},$$

nga formula shihet se ajo është madhësi pa dimensione. Permeabiliteti magnetik relativ është karakteristikë e një materiali të dhënë dhe tregon se si ndryshon induksioni magnetik i fushës në atë material në krahasim me induksionin magnetik të fushës në vakum. Në bazë të vlerës së μ_r , materialet, sipas vetive të tyre magnetike, ndahen në materiale diamagnetike, paramagnetike dhe feromagnetike ose në diamagnetikë, paramagnetikë dhe feromagnetikë.

Fjala „permeabilitet“ nënkupton përshkueshmëri, ndërsa në kontekstin e vetive magnetike tregon aftësinë e materialit për ta lejuar fushën magnetike të kalojë nëpër të. Sa më shumë që materiali e lejon kalimin e saj, aq më shumë e përforcon fushën brenda tij, siç paraqitet në figurën 2. Prej kësaj shihet se feromagnetikët e lejojnë më mirë kalimin e fushës magnetike, që do të thotë se kanë vlerën më të madhe të permeabilitetit magnetik relativ

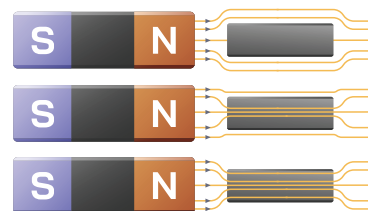


Figura 2. Permeabiliteti i materialeve magnetike

Diamagnetikët

Te diamagnetikët, permeabiliteti magnetik relativ është pak më i vogël se një ($\mu_r < 1$) dhe ata e dobësojnë fushën magnetike. Në mungesë të fushës së jashtme, momenti i përgjithshëm magnetik i këtyre materialeve është zero, sepse momenti magnetik orbital dhe momenti magnetik i spinin janë të orientuar në kahje të kundërta. Nëse një material diamagnetik vendoset në një fushë magnetike, dipolët magnetikë orientohen në kahje të kundërt me kahjen e fushës magnetike (figura 3). Materiale që shfaqin veti të tilla magnetike janë: uji, argjendi, bakri, bismuti, kripa e kuzhinës, shumica e gazeve e të tjera. Ato e dobësojnë fushën e jashtme magnetike dhe për këtë arsye „largohen“ prej saj (figura 2).

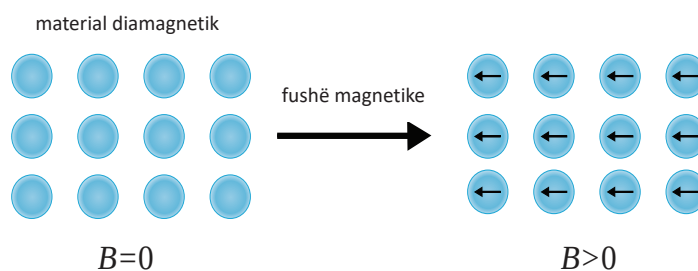


Figura 3. Material diamagnetik

Paramagnetikët

Materialet paramagnetike kanë permeabilitet magnetik relativ më të madh se një ($\mu_r > 1$). Tek ato mbizotëron fusha magnetike orbitale, përkatësisht atomet kanë moment magnetik orbital të ndryshëm nga zero. Në mungesë të fushës magnetike, momenti i përgjithshëm magnetik i trupit ose i materialit, të cilin e fitojmë si shumë vektoriale të momenteve magnetike të të gjitha atomeve, është i barabartë me zero. Momentet magnetike janë të orientuara në të gjitha drejtimet pa ndonjë rregull dhe efektet magnetike anulohen. Prandaj, këto materiale nuk shfaqin veti magnetike të dukshme.

Kur paramagnetiku vendoset në një fushë magnetike të jashtme, një pjesë e momenteve magnetike radhiten në kahun e fushës (figura 4). Për shkak të kësaj radhitjeje të pjesshme, induksioni magnetik në brendësi të tij rritet. Ky efekt është relativisht i dobët, sepse radhitja e magneve elementare është vetëm e pjesshme. Kjo paraqitet edhe në figurë, ku orientimi i momenteve magnetike është vetëm pjesërisht e kahëzuar në drejtimin e fushës së jashtme.

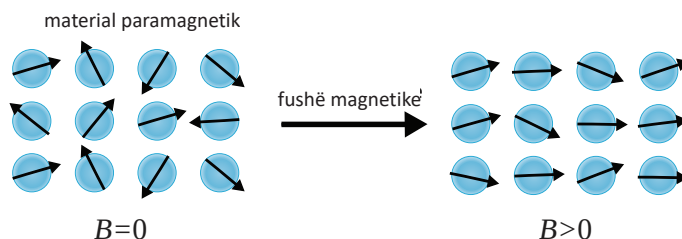


Figura 4. Material paramagnetik

Pas largimit të fushës magnetike, paramagnetikët kthehen shpejt në orientimin e çrregullt dhe e humbin plotësisht momentin magnetik të induktuar. Shembuj tipikë të paramagnetikëve janë alumini, natriumi, kaliumi, volframi, platina dhe oksigjeni.

Feromagnetikët

Këto materiale kanë veti magnetike shumë të theksuara, të cilat lidhen më shumë me momentin magnetik të spinet sesa me momentin e përgjithshëm të atomit si tërësi. Ato mund të magnetizohen fuqishëm. Feromagnetikët kanë permeabilitet magnetik relativ shumë të madh. Ai është shumë më i madh se një ($\mu_r \gg 1$), nga disa dhjetëra mijë deri në një milion, që do të thotë se ata e përforcojnë shumë fushën e jashtme magnetike. Vetë feromagnetike shfaqin hekuri, kobalti, nikeli dhe legurat e tyre. Në këto materiale ekziston bashkëveprim i fortë ndërmjet momenteve magnetike të atomeve fqinje. Prandaj, grupe të mëdha atomesh, spinet e të cilave kanë të njëjtën kahje, formojnë zona që quhen domene magnetike. Brenda tyre ekziston vetëorganizim spontan edhe kur feromagnetiku nuk ndodhet në një fushë magnetike të jashtme. Madhësia e domeneve zakonisht mund të jetë përafërsisht nga 10^{-3} mm deri në 1 mm. Në një material të pamagnetizuar, domenet janë të orientuara në mënyrë të çrregullt, siç tregohet në figurën 5a. Kur feromagnetiku vendoset në një fushë magnetike, orientimi i fushave magnetike në çdo domen ndryshon në mënyrë që ato të vendosen në kahjen e fushës së jashtme (figura 5b). Kjo radhitje e përforcon veprimin e fushës së jashtme magnetike. Një sjellje e tillë u mundëson disa materialeve, për shembull hekurit të pamagnetizuar, të magnetizohen kur ndodhen pranë një magneti të fuqishëm ose kur fërkohen me një magnet të përhershëm. Radhitja graduale e domeneve bën që hekuri të magnetizohet përkohësisht ose në mënyrë të përhershme. Ndryshe nga diamagnetikët dhe paramagnetikët, vetëm materialet me strukturë kristalore mund të kenë veti feromagnetike. Nëse një feromagnetik

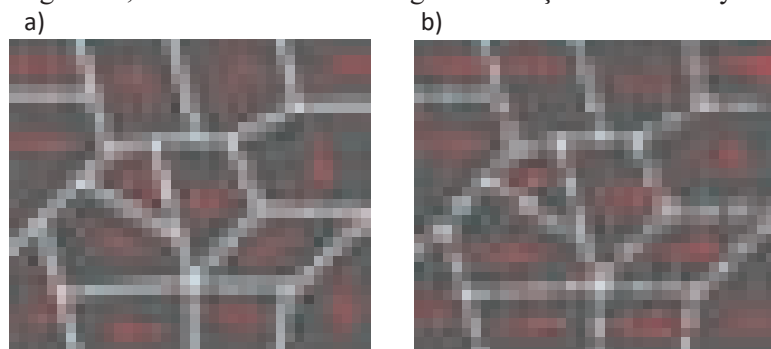


Figura 5. Domenet magnetike në feromagnetik:

a) në mungesë të fushës së jashtme magnetike;

b) në fushë magnetike

kalon në gjendje të lëngët ose të gaztë, ai sillet si paramagnetik. Kjo tregon se vetitë e tij magnetike përcaktohen edhe nga struktura kristalore. Për shembull, një material feromagnetik mund t'i humbasë vetitë magnetike dhe të shndërrohet në paramagnetik gjatë ngrohjes. Temperatura në të cilën feromagnetiku i humbet vetitë feromagnetike dhe shndërrohet në paramagnetik quhet temperatura e Kyrit (Curie). Për hekurin ajo është $770\text{ }^{\circ}\text{C}$, ndërsa për nikelin është shumë më e ulët dhe $360\text{ }^{\circ}\text{C}$. Feromagnetiku mund t'i humbasë vetitë magnetike edhe kur vendoset në një fushë magnetike të ndryshueshme, si dhe kur u nënshtrohet sforcimeve

mekanike të menjëhershme dhe të fuqishme. Për shembull, gjatë goditjes domenet zhvendosen dhe radhitja e tyre çrregullohet, me ç'rast materiali i humb vetitë magnetike.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Njohja e vetive magnetike të materialeve, përveç rëndësisë teorike përbën bazën për zhvillimin e shumë pajisjeve teknologjike, si elektromotorët, gjeneratorët, pajisjet për ruajtjen e të dhënave, sensorët dhe aparatet për diagnostikim mjekësor, të cilat janë pjesë e pazëvendësueshme e jetës bashkëkohore.

Nga materialet diamagnetike prodhohen pjesë të caktuara të instrumenteve precize dhe të sensorëve, në të cilët nuk duhet të ketë pengesa magnetike. Gjithashtu, vetitë diamagnetike të ujit dhe të indeve organike janë të rëndësishme për parimin e funksionimit të pajisjeve të rezonancës magnetike. Për shembull, materialet paramagnetike përdoren si mjete kontrasti. Disa sensorë shfrytëzojnë vetinë paramagnetike të oksigjenit për zbulimin e tij.

Nga materialet feromagnetike prodhohen magnetë të përhershme dhe bërthama për elektromotorë, gjeneratorë e transformatorë. Ato përdoren gjithashtu në pajisjet për ruajtjen e informacioneve, bravat magnetike, altoparantët, mikrofonat e të tjera. Kuptimi i vetive magnetike mundëson zgjedhjen e duhur të materialeve dhe shfrytëzimin optimal të dukurive magnetike në teknikë dhe shkencë. Disa prej tyre përdoren si magnetë të përhershme ndërsa të tjerat si materiale të buta magnetike, tek të cilat magnetizimi ndryshon lehtë.



PYETJE DHE DETYRA

1. Nga se varen vetitë magnetike të materialeve?
2. Si e përkufizojmë permeabilitetin magnetik relativ?
3. Çfarë është karakteristike për diamagnetikët?
4. Cilat janë ngjashmëritë dhe dallimet ndërmjet paramagnetikëve dhe ferromagnetikëve?
5. Çfarë është temperatura e Kyrit?

Tema 1: PYETJE DHE DETYRA

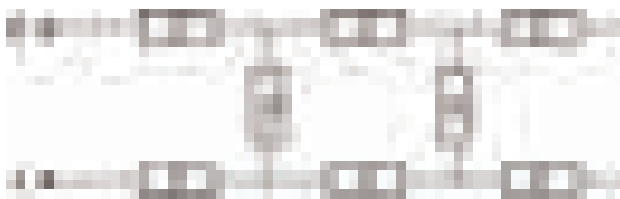
1. Një sferë metalike e elektrizuar prek një sferë metalike neutrale që ka rreze të njëjtë dhe më pas ato ndahen. Si do të shpërndahet ngarkesa elektrike gjatë kontaktit të sferave? Shpjego përgjigjen tënde. Si do të shpërndahet ngarkesa nëse njera sferë ka rreze dy herë më të madhe se tjetra?
2. Dy ngarkesa janë vendosur në mënyrë të tillë që fusha elektrike në një pikë të jetë zero. A duhet të jetë medoemos zero edhe potenciali elektrik në atë pikë? Arsyejo përgjigjen.
3. Nëse dimë se shpejtësia e lëvizjes së kahëzuar të elektroneve nëpër një përçues metalik është shumë e vogël, atëherë pse llamba ndizet menjëherë pas mbylljes së ndërprerësit?
4. Shpjego pse instrumenti për matjen e intensitetit të rrymës (ampermetri) duhet të ketë rezistencë të brendshme shumë të vogël. Si duhet të lidhet ampermetri me shpenzuesin në qarkun elektrik?
5. Në një qark elektrik janë lidhur paralelisht dy llamba të njëjta. Nëse njera prej tyre digjet, si do të ndikojë ky ndryshim në intensitetin e rrymës që rrjedh nëpër llambën tjetër?
6. Dy rezistorë me dimensione të njëjta dhe të prodhuar nga i njëjti material janë lidhur në seri në një qark elektrik. Nëse forca elektromotore në qark rritet papritur, çfarë do të ndodhë me nxehtësinë e çliruar në secilin rezistor? Shpjego.
7. Në një qark elektrik me tension të pandryshueshëm është lidhur një rezistor. Nëse në qark shtohet edhe një rezistor tjetër i njëjtë, i lidhur në seri me të parin, si do të ndryshojë:
 - a) intensiteti i rrymës në qark?
 - b) fuqia e përgjithshme në qark?
 Në të dyja rastet, në qark është lidhur i njëjti burim i forcës elektromotore me rezistencë të brendshme të papërfillshme. Arsyejo përgjigjen në mënyrë cilësore, pa bërë llogaritje.
8. Një përçues i drejtë, nëpër të cilin rrjedh rrymë, është vendosur në një fushë magnetike homogjene, pingul me vijat e forcës magnetike. Çfarë do të ndodhë me forcën e Amperit që vepron mbi përçuesin nëse atë e vendosim paralelisht me vijat e forcës magnetike?
9. Nëpër një sustë bakri rrjedh rrymë elektrike. Si do të silllet susta gjatë kohës që nëpër të rrjedh rrymë?
10. Një elektron dhe një proton lëvizin me shpejtësi të njëjtë në një fushë magnetike homogjene ndërsa trajektorët e tyre rrethore kanë rreze të ndryshme. Shpjego nga se varet ky ndryshim. Cila grimcë do të ketë trajektore me rreze më të madhe?
11. Dy ngarkesa pikësore me vlera $+5 \text{ pC}$ dhe $+2 \text{ pC}$ ndodhen në vakuum, në largësinë 30 cm nga njëra-tjetra. Përcakto intensitetin e fushës elektrike në një pikë që ndodhet ndërmjet ngarkesave, në largësinë 10 cm nga ngarkesa e parë. (Zgjidhje $E = 4,1 \text{ N/C}$)
12. Gjatë fluturimit, sipërfaqja metalike e një aeroplani mund të elektrizohet për shkak të fërkimit me ajrin deri në potencialin elektrik 200 kV . Kapaciteti i përgjithshëm i aeroplanit është 1 nF .
 - a) Sa energji elektrike është grumbulluar në aeroplan?
 - b) Pse kjo nuk paraqet rrezik për udhëtarët në kabinë? (Zgjidhje: $E = 20 \text{ J}$)
13. Një kondensator ngarkohet deri në tensionin 200 V dhe më pas shkëputet nga burimi. Nëse ndërmjet pllakave të kondensatorit vendoset një dielektrik me konstante dielektrike relative 4 , atëherë:
 - a) Si do të ndryshojë tensioni në skajet e kondensatorit?
 - b) Si do të ndryshojë intensiteti i fushës ndërmjet pllakave?
 - c) Si do të ndryshojë energjia e kondensatorit? (Zgjidhje: a) $U_1 = U/4$, b) $E_1 = E/4$, c) $E_{cl} = E_c/4$)

14. Një defibrilator përdor një kondensator me kapacitet $150 \mu\text{F}$ të ngarkuar në tensionin 1800 V .
- Përcakto energjinë e grumbulluar.
 - Nëse shkarkimi i kondensatorit zgjat 5 ms , përcakto fuqinë e defibrilatorit.
 - Si do të ndryshojë energjia e grumbulluar nëse tensioni zvogëlohet dy herë, ndërsa kapaciteti mbetet i njëjtë? (Zgjidhje a) $E = 243 \text{ J}$, b) $P = 49 \text{ kW}$, c) $E_1 = E/4$)

15. Përcakto intensitetet e rrymave nëpër tri degët e qarkut elektrik të paraqitur në figurë. (Zgjidhje: $0,91 \text{ A}$, $0,18 \text{ A}$, $0,73 \text{ A}$)

16. a) Sa është rezistenca ekuivalente e rezistorëve të lidhur në mënyrë të kombinuar, nëse burimi i forcës elektromotore lidhet ndërmjet pikave A dhe B dhe të gjithë rezistorët kanë të njëjtën rezistencë R ?

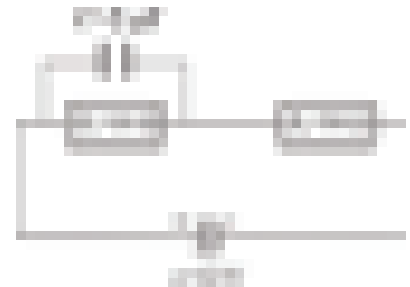
(Zgjidhje: $R_e = \frac{30}{11} R$)



- b) Llogarit kapacitetin ekuivalent të baterisë së kondensatorëve të paraqitur në figurë, nëse kapaciteti i secilit kondensator është C .

(Zgjidhje: $C_e = \frac{4}{7} C$)

17. Përcakto tensionin në skajet e kondensatorit në qarkun elektrik të paraqitur në figurë. Sa sasi elektriciteti do të grumbullohet në pllakat e tij? (Zgjidhje: 3 V , $6 \mu\text{C}$)



18. Dy llamba me fuqi 60 W dhe 100 W , që punojnë me tension prej 220 V , lidhen në qark:

- në seri; dhe
- paralelisht.

Në të dyja rastet përcakto se cila llambë do të ndriçojë më shumë:

- ajo me fuqi 60 W ,
- ajo me fuqi 100 W

19. Dy përçues të gjatë paralelë janë vendosur në vakum, në largësinë 6 cm nga njëri-tjetri në një rrafsh vertikal. Nëpër përçuesin e parë rrjedh rrymë me intensitet 10 A , ndërsa përçuesi i dytë ka masë $0,04 \text{ kg}$ për metër gjatësi dhe mund të lëvizë lirshëm në rrafshin vertikal.

- Në cilën kahje duhet të rrjedhë rryma nëpër përçuesin e dytë, që ai të qëndrojë pezull mbi përçuesin e parë?
- Sa duhet të jetë intensiteti i rrymës nëpër përçuesin e dytë? (Zgjidhje b) $I_2 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ A}$)

20. Një grimcë e elektrizuar hyn në një zonë ku ekzistojnë njëkohësisht fusha elektrike E dhe fusha magnetike B , pingule me njëra-tjetrën. Grimca lëviz në vijë të drejtë. Ky sistem vepron si filtër ose si selektor i shpejtësive.
- Shpreh lidhjen ndërmjet E , B dhe shpejtësisë së grimcës..
 - Shpjego në cilat kushte dhe pse grimca që hyn në këtë hapësirë do të vazhdojë të lëvizë në të njëjtin drejtim.
 - Jep të paktën një shembull të zbatimit praktik të këtij selektori të shpejtësive. (Zgjidhje: a) $E = v B$)

TEMA 2:

LËKUNDJET MEKANIKE DHE VALËT

Në natyrë dhe në jetën e përditshme hasim shpesh dukuri që përsëriten me kalimin e kohës ose përhapen në hapësirë, si lëvizja e lavjerrësit, dridhja e kordës, përhapja e zërit ose valëzimet në sipërfaqen e ujit. Megjithëse në pamje të parë janë të ndryshme, këto dukuri kanë karakteristika të përbashkëta fizike dhe përshkruhen nga të njëjtat ligje themelore.

Dega e fizikës që studion lëvizjet mekanike periodike quhet mekanika e lëkundjeve ndërsa përhapja e lëkundjeve nëpër një mjedis përshkruhet me anë të valëve. Në këtë temë do të njihesh me lëkundjet dhe valët mekanike, vetitë e tyre themelore dhe lidhjen e ndërsjellë ndërmjet tyre.

Do të studiosh lëvizjen lëkundëse harmonike, lavjerrësin matematik dhe oscilatorin elastik, si dhe nocionet e periodës, frekuencës, amplitudës dhe energjisë. Më tej do të shqyrtohen valët mekanike, krijimi dhe përhapja e tyre, si dhe dukuritë e reflektimit, përthyerjes dhe mbivendosjes së valëve.

Ligjet që do të studiosh në temën e lëkundjeve dhe valëve kanë zbatim të gjerë: në muzikë dhe akustikë, në ultratinguj dhe deri te teknologjitë bashkëkohore të komunikimit. Njohuritë që do të fitosh do të të mundësojnë t'i kuptosh më mirë dukuritë e shumta që vëzhgon çdo ditë.

Rezultatet e të nxënit

Nxënësi/nxënësja do të jetë i/e aftë të:

1. shpjegojë dhe krahasojë lloje të ndryshme të lëkundjeve dhe valëve mekanike duke dalluar shembuj të tyre në natyrë dhe teknikë;
2. analizojë karakteristikat e lëvizjes lëkundëse harmonike, të lavjerrësit matematik dhe të oscilatorit elastik, si dhe të zbatojë ekuacionet për llogaritjen e periodës dhe të frekuencës;
3. përcaktojë në mënyrë eksperimentale varësitë të lëvizjet lëkundëse dhe të interpretojë rezultatet, duke i krahasuar me parashikimet teorike;
4. zbatojë ligjin e ruajtjes së energjisë të dukuritë lëkundëse dhe valore, si dhe të shpjegojë shndërrimet e energjisë gjatë këtyre proceseve;
5. dallojë dhe shpjegojë llojet e valëve mekanike (gjatësore, tërthore, të rrafshëta dhe sferike), si dhe të zbatojë ekuacionin e valës gjatë zgjidhjes së detyrave;
6. analizojë dukuritë e reflektimit, përthyerjes dhe mbivendosjes së valëve nëpërmjet shembujve grafikë dhe eksperimentalë, si dhe të nxjerrë përfundime për përhapjen e tyre nëpër mjedise të ndryshme;
7. shpjegojë krijimin dhe përhapjen e zërit, të dallojë tonin dhe zhurmën, si dhe të zbatojë masa mbrojtëse ndaj veprimit të dëmshëm të zhurmës;
8. hulumtojë dhe zbatojë shembuj të infratingullit, ultratingullit dhe jehonës në teknologji, mjekësi dhe në jetën e përditshme;
9. shpjegojë dukuri në astronomi dhe mjekësi që lidhen me efektin e Doplerit.

2.1. Lëkundjet mekanike dhe oscilatori harmonik

Në vitin e parë mësuat për lloje të ndryshme të lëvizjeve. Te disa prej tyre, lëvizja përsëritet nëpër të njëjtën trajektore pas një intervali të caktuar kohor. Lëvizjet e tilla, që përsëriten në intervale të barabarta kohore, quhen **lëvizje periodike**.

Lëvizja periodike mund të zhvillohet nëpër trajektore të ndryshme. Një shembull i zakonshëm është lëvizja nëpër një rreth, si lëvizja e kabinës së rrotës panoramike. Kabina lëviz nëpër një trajektore rrethore dhe pas një intervali të caktuar kohor, kthehet përsëri në pozitën fillestare. Për shkak të përsëritjes së rregullt, kjo lëvizje është periodike. Shembull i ngjashëm është edhe lëvizja e akrepit të sekondave të orës, i cili pas të njëjtit interval kohor kthehet gjithmonë në pozitën fillestare.

Intervali më i shkurtër kohor pas të cilit përsëritet lëvizja periodike quhet periodë dhe shënohet me T . Perioda e akrepit të sekondave është 60s, sepse pas 60 sekondash ai kthehet përsëri në të njëjtën pozitë fillestare. Te rrota panoramike, perioda varet nga shpejtësia e lëvizjes: sa më shpejt të lëvizë, aq më e shkurtër është perioda. Këta janë shembuj të lëvizjeve periodike nëpër trajektore rrethore.



Figura 1. Dy luhatëse: njëra me një fëmijë, e cila kryen lëvizje periodike, dhe tjetra në pozitën e ekuilibrit

Megjithatë, ekzistojnë edhe lëvizje periodike që nuk zhvillohen nëpër një trajektore rrethore. Gjatë këtyre lëvizjeve, trupi nuk rrotullohet në rreth, por kalon nëpër një pozitë të veçantë, të quajtur pozitë ekuilibri. Pozita e ekuilibrit është pozita në të cilën forca rezultante që vepron mbi trupin është e barabartë me zero. Për shembull, te luhatësja në park, pozita e ekuilibrit është pozita më e ulët në raport me sipërfaqen e Tokës, përkatësisht pozita në të cilën ndodhet luhatësja kur është në qetësi (figura 1).

Lëvizja mekanike lëkundëse është lëvizje mekanike periodike, gjatë së cilës një pikë materiale ose një trup lëviz rreth një pozite të qëndrueshme ekuilibri nën veprimin e një force kthyesë. Kahja e kësaj

force është gjithmonë drejt pozitës së ekuilibrit, ndërsa madhësia e saj varet nga zhvendosja e trupit prej kësaj pozite. Trupi që kryen një lëvizje të tillë quhet oscilator.

Lëvizja e luhatësës, dridhja e kordës së kitarës ose lëvizja e një trupi të varur në sustë janë shembuj të lëvizjes lëkundëse, ndërsa luhatësja, korda dhe trupi janë oscilatorë. **Të gjitha lëvizjet lëkundëse janë periodike, por jo çdo lëvizje periodike është lëkundëse.** Shembull i një lëvizjeje periodike që nuk është lëkundëse është lëvizja nëpër rreth..

Çdo lëvizje lëkundëse zhvillohet ndërmjet dy pozitave të skajshme në të cilat trupi ndalet për një çast dhe më pas e ndryshon kahjen e lëvizjes. Një lëkundje paraqet një cikël të plotë të lëvizjes lëkundëse, pas të cilit lëvizja përsëritet në të njëjtën mënyrë. Te luhatësja, një lëkundje e plotë është lëvizja nga njëra pozitë e skajshme (pika A në figurën 2), nëpër pozitën e ekuilibrit (pika B), deri te pozita tjetër e skajshme (pika C) dhe përsëri prapa deri te pozita e parë (A).

Që të krijohet lëvizja lëkundëse, duhet të plotësohen dy kushte:

Kushti i parë është që trupi të ketë energji. Nën veprimin e një force, kur mbi trupin kryhet punë, ai fiton energji. Për shembull, kur e shtyjme luhatësen, ajo fillon të lëkundet. Gjithashtu, nëse e largojmë luhatësen nga pozita e ekuilibrit deri në një lartësi të caktuar dhe më pas e lëshojmë, ajo do të fillojë të lëkundet.

Kushti i dytë është që mbi trupin të veprojnë një forcë që e kthen vazhdimisht drejt pozitës së ekuilibrit. Te një trup i varur në sustë dhe i zhvendosur nga pozita e ekuilibrit, kjo është forca elastike e sustës (figura 3, majtas). Te luhatësja, kjo është komponenta e forcës së rëndesës e drejtuar drejt pozitës së ekuilibrit (figura 3, djathtas).

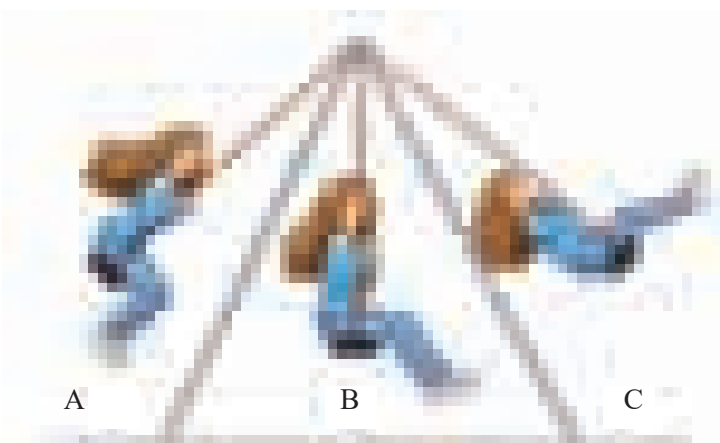


Figura 2. Paraqitja skematike e pozitës së ekuilibrit (B) dhe e dy pozitave të skajshme (A dhe C) gjatë lëvizjes lëkundëse të luhatësës.

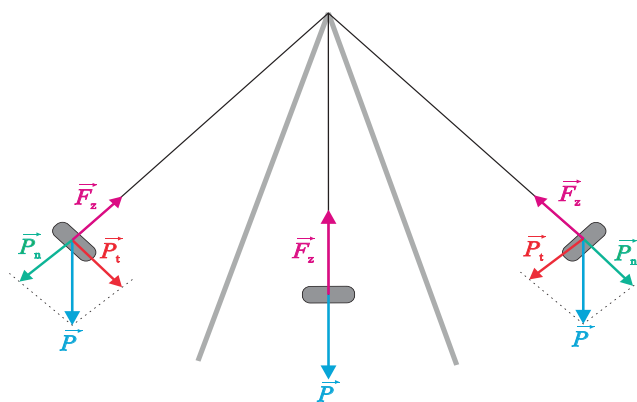
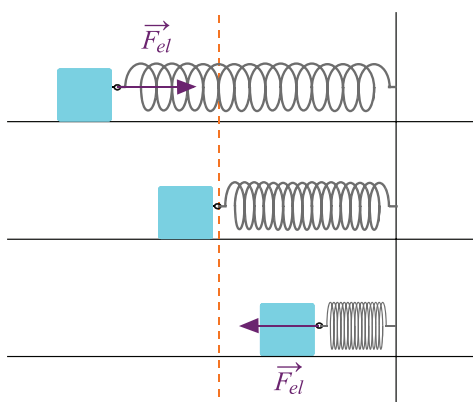


Figura 3. Forcat që shkaktojnë lëkundjet te një trup i lidhur me sustë (majtas) dhe te luhatësja (djathtas). Te susta nuk ka fërkim ndërmjet trupit dhe sipërfaqes mbështetëse.

Pas një kohe të caktuar, oscilatori ndalon së lëkunduri sepse mbi të veprojnë forcat e fërkimit dhe të rezistencës, si fërkimi në kushineta, rezistenca e ajrit ose fërkimi i brendshëm në material. Këto forca kryejnë punë negative mbi oscilatorin, me ç'rast energjia e tij mekanike zvogëlohet vazhdimisht. Në mësimet në vazhdim, për thjeshtim, do të konsiderojmë se në të gjitha lëvizjet lëkundëse forcat e fërkimit dhe të rezistencës së ajrit mund të mos merren parasysh ndërsa më vonë do të shqyrtojmë edhe veprimin e tyre.

Të shqyrtojmë një trup me masë m , të varur në një sustë. Në trup është përforcuar një laps ndërsa pas tij vendoset një shirit letre që lëviz horizontalisht me shpejtësi konstante (figura 4). Kur trupi është në qetësi, susta ndodhet në gjendjen e ekuilibrit. Në këtë rast, lapsi lë një vijë të drejtë mbi letër, sepse pozita e tij nuk ndryshon me kalimin e kohës.

Kur trupi zhvendoset nga pozita e ekuilibrit dhe lëshohet, ai fillon të lëkundet lart-poshtë rreth kësaj pozite. Njëkohësisht, letra lëviz horizontalisht. Gjurma që lë lapsi mbi letër paraqet zhvendosjen e trupit nga pozita e ekuilibrit në varësi të kohës. Nëpërmjet kësaj gjurme mund të përcaktohen disa madhësi fizike të rëndësishme që përshkruajnë lëvizjen lëkundëse.

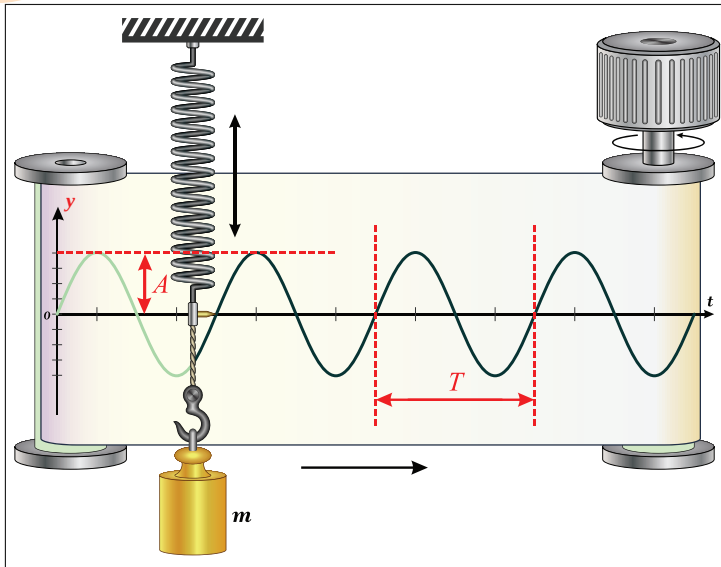


Figura 4. Regjistrimi grafik i lëkundjeve të një trupi të varur në sustë

matëse e frekuencës është (s^{-1}) ose herc (Hz), ku vlen $1s^{-1} = 1\text{Hz}$. Nëse oscilatori kryen një lëkundje për 2s, atëherë frekuenca e tij është $f = 0,5s^{-1} = 0,5\text{Hz}$. Frekuenca e lëvizjes lëkundëse dhe perioda lidhen nëpërmjet varësisë së mëposhtme:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Oscilatori harmonik

Oscilatori harmonik është një model që paraqet lëkundjen e një sistemi fizik tek i cili lëvizja lëkundëse kryhet nën veprimin e një force që është proporcionale me zhvendosjen nga pozita e ekuilibrit dhe është gjithmonë e kahëzuar drejt kësaj pozite. Në këtë model nuk merren parasysh disa madhësi fizike, si dimensionet e trupit, rezistenca e mjedisit dhe fërkimi, me qëllim që lëvizja lëkundëse të studiohet më thjesht. Shembull i oscilatorit harmonik është një trup i varur në një sustë elastike, siç paraqitet në figurën 5. Në pozitën e ekuilibrit, gjatësia e sustës është l_0 .

Nëse susta zgjatet dhe trupi lëshohet, ai do të fillojë të lëkundet. Sipas ligjit të Hukut, mbi trupin vepron gjithmonë një forcë që është proporcionale me ndryshimin e gjatësisë së sustës. Forca nën veprimin e së cilës kryhen lëkundjet e trupit të varur në sustë mund të shkruhet si:

$$F = -ky$$

ku y është zhvendosja e trupit nga pozita e ekuilibrit, përkatësisht elongacioni, ndërsa k është koeficienti i elasticitetit të sustës. Shenja minus në ekuacion tregon se forca ka kahje të kundërt me zhvendosjen e trupit, përkatësisht ajo është gjithmonë e kahëzuar drejt pozitës së ekuilibrit. Lëvizja e këtij sistemi quhet lëkundje harmonike. Gjatë lëkundjes harmonike, elongacioni ndryshon periodikisht me kalimin e kohës, ndërsa varësia e tij nga koha ka formën e funksionit sinus ose kosinus (figura 6).

Zhvendosja e trupit nga pozita e ekuilibrit në një moment të caktuar quhet elongacion. Në varësi të drejtimit të lëkundjes së trupit, elongacionin mund ta shënojmë me x (nëse trupi lëkundet horizontalisht) ose me y (nëse trupi lëkundet vertikalisht). Zhvendosja maksimale (ose elongacioni më i madh) e trupit nga pozita e ekuilibrit quhet amplitudë. Amplituda shënohet me A . Perioda është koha e nevojshme që trupi të kryejë një lëkundje të plotë. Për shembull, nëse oscilatori i nevojiten 2s për një lëkundje të plotë, atëherë perioda e tij është $T = 2s$.

Frekuenca është numri i lëkundjeve në një sekondë dhe shënohet f . Njësia

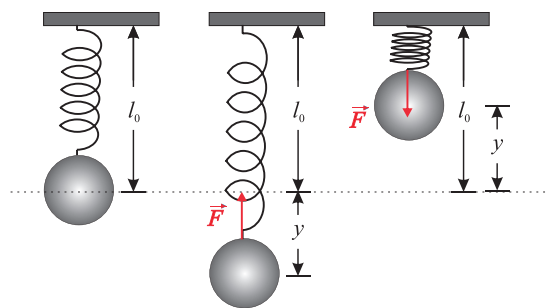


Figura 5. Një trup i varur në sustë kryen lëvizje lëkundëse harmonike



Figura 6. Grafiku i funksionit sinus dhe i funksionit kosinus



AKTIVITETI 1.

Hapni një kalkulator grafik në internet. „Desmos – Graphing Calculator“ në lidhjen e mëposhtme: <https://www.desmos.com/calculator>

1. Paraqitni grafikisht funksionet e mëposhtme në të njëjtin sistem koordinativ:
 $y = \sin t$ dhe $y = \cos t$.

Do të përftoni grafikët e paraqitur në figurën 6.

2. Në një grafik të ri, paraqitni funksionin e mëposhtëm:

$$y = A \cos t.$$

Për koeficientin A , zgjidhni opsionin «shto rrëshqitës» (add slider). Do të shfaqet një rrëshqitës që do të mundësojë ndryshimin e vlerës së A . Ndryshoni vlerën e A -së dhe vëreni se çfarë ndodh me grafikun. Kushtojuni vëmendje të veçantë rasteve të mëposhtme:

$$y = 2 \cos t \text{ dhe } y = 0,5 \cos t.$$

- Çfarë ndryshoi në grafik kur ndryshuat vlerën e A -së?
- Si e quajtëm madhësinë fizike që ndryshonte?

3. Paraqitni grafikisht funksionin e mëposhtëm:

$$y = A \cos(nt).$$

Shtoni koeficientin n duke përdorur opsionin «add slider» dhe vendosni $A=1$. Ndryshoni vlerën e n -së dhe vëreni se çfarë ndodh me grafikun. Kushtojuni vëmendje të veçantë rasteve të mëposhtme:

$$y = \cos(2t)$$

$$y = \cos(0,5t).$$

- Çfarë ndryshoi në grafik kur ndryshuat vlerën e n -së?
- Si ndryshoi numri i lëkundjeve brenda të njëjtit interval të t -së?
- Si e quajmë madhësinë fizike që ndryshon?

4. Paraqitni grafikisht funksionin e mëposhtëm:

$$y = A \cos(nt + p).$$

Shtoni koeficientin p duke përdorur opsionin «add slider», ndërsa për koeficientët e tjerë caktoni vlerat $A=1$ dhe $n=1$. Ndryshoni vlerën e p -së dhe vëreni se çfarë ndodh me grafikun.

- Si ndryshon grafiku?
- A ndryshojnë amplituda dhe numri i lëkundjeve?

5. Duke përdorur kalkulatorin grafik, paraqitni një grafik me karakteristikat e mëposhtme:

a) Vlera maksimale e funksionit të jetë 2;

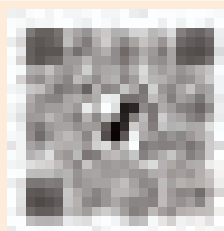
b) Distanca ndërmjet dy maksimumeve fqinje të jetë dy herë më e madhe krahasuar me grafikun e dhënë;

$$y = A \cos t$$

c) Pika fillestare të ndodhet në zero.

Shkruani ekuacionin e funksionit dhe paraqitni grafikun përkatës.

Shënim: Aktiviteti mund të realizohet edhe me një kalkulator grafik, por vlerat e koeficientëve duhet të ndryshohen manualisht



Në Aktivitetin 1, grafikët e funksioneve që paraqitët nuk janë vetëm lakore matematikore. Ata kanë të njëjtën formë me grafikun që fitohet gjatë përcaktimit të elongacionit (zhvendosjes) të një trupi që lëkundet. Një formë e tillë e varësisë fitohet, për shembull, gjatë lëkundjes së:

- Një trupi të varur në sustë
- Një lavjerrësi matematik.

Nga kjo rrjedh se parametrat e shqyrtuar në aktivitet kanë kuptim të qartë fizik në përshkrimin e lëvizjes osciluese (lëkundëse) harmonike. Koeficienti A përcakton vlerën maksimale dhe minimale që arrin funksioni. Në rastin e oscilatorit harmonik, nëse në boshtin vertikal paraqesim elongacionin, ky koeficient përfaqëson zhvendosjen maksimale nga pozita e ekuilibrit, përkatësisht **amplitudën**.

Koeficienti n ndikon në gjatësinë e intervalit pas të cilit funksioni përsëritet, përkatësisht në distancën ndërmjet dy përsëritjeve të plota të njëpasnjëshme të grafikut. Në kuptimin fizik, ky ndryshim lidhet me numrin e lëkundjeve në njësi të kohës, përkatësisht me **frekuencën** e lëkundjes. Në përshkrimin matematikor të lëvizjes osciluese harmonike, në vend të frekuencës përdoret më shpesh **frekuenca rrethore**, e cila shënohet me ω (lexohet «omega»). Lidhja ndërmjet frekuencës dhe frekuencës rrethore, si dhe ajo ndërmjet periodës dhe frekuencës rrethore, jepet me formulat:

$$\omega = 2\pi f, \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Frekuenca rrethore shprehet me njësinë radian për sekondë (rad/s).

Parametri i fundit p shkakton ndryshimin e vlerës së funksionit në çastin fillestar. Në lëvizjen osciluese, kjo madhësi quhet fazë fillestare. Faza fillestare përcakton pozitën dhe kahjen e lëvizjes së oscilatorit në çastin $t = 0$ dhe shënohet me φ_0 (lexohet «fi»).

Shprehja $(\omega t + \varphi_0)$, paraqet argumentin e funksionit sinus ose kosinus, përcakton pozitën e oscilatorit në çdo çast. Kjo shprehje quhet **fazë e lëkundjes** dhe shprehet në radianë.

Duke i bashkuar të gjitha elementet, fitohet ekuacioni i lëvizjes osciluese harmonike:

$$y = A \cos(\omega t + \varphi_0),$$

me të cilën mund të përcaktohet elongacioni i trupit që oscilon (lëkundet) në çdo moment të kohës.

Në mënyrë të barabartë, e njëjta lëvizje mund të përshkruhet edhe me funksionin sinus. Në këtë rast, faza fillestare φ_0 do të ketë vlerë tjetër, por kuptimi fizik i lëvizjes mbetet i njëjtë. Për shembull, nëse ekuacioni që përshkruan lëvizjen osciluese është $y = A \cos(2t - \frac{\pi}{4})$, i njëjti ekuacion mund të shkruhet edhe në formën $y = A \sin(2t + \frac{\pi}{4})$.

Nga ekuacioni i lëvizjes osciluese harmonike, duke përdorur njohuri matematikore që nuk mësohen në vitin e dytë të arsimit të mesëm, mund të nxirren ekuacionet e shpejtësisë dhe të nxitimit të kësaj lëvizjeje. Për këtë arsye, ato do të jepen vetëm në formën e tyre përfundimtare.

Gjatë lëvizjes osciluese harmonike, trupi nuk lëviz me të njëjtën shpejtësi përgjatë një oscilacioni. Kur ndodhet në pozitën e ekuilibrit, ai lëviz më shpejt ndërsa kur arrin në pozitat e amplitudës, ndalet për një çast dhe ndryshon kahjen e lëvizjes. Shpejtësia e oscilatorit harmonik ndryshon periodikisht me kohën, njësoj si elongacioni, por nuk e arrin vlerën maksimale në të njëjtat momente. Kjo shprehet me ekuacionin:

$$v = -\omega A \sin(\omega t + \varphi) = -v_{\max} \sin(\omega t + \varphi),$$

ku $v_{\max}$ shënon shpejtësinë maksimale që mund të arrijë oscilatori gjatë procesit të oscilimit.

Edhe pse shpejtësia e trupit është zero në pozitat e amplitudës, kjo nuk do të thotë se trupi nuk ka nxitim në ato pozita. Përkundrazi, pikërisht në këto pozita trupi ndryshon kahjen e lëvizjes, gjë që është e mundur vetëm nëse ai ka nxitim. Gjatë lëvizjes osciluese harmonike, nxitimi është gjithmonë i kahëzuar drejt pozitës

së ekuilibrit, ndërsa madhësia e tij varet nga largësia e trupit që oscilon prej kësaj pozite. Sa më i madh të jetë elongacioni, aq më i madh është edhe nxitimi. Në pozitën e ekuilibrit, nxitimi është i barabartë me zero. Ekuacioni i nxitimit gjatë lëvizjes osciluese harmonike është:

$$a = -\omega^2 A \cos(\omega t + \varphi) = -a_{\max} \cos(\omega t + \varphi)$$

ku $a_{\max}$ shënon nxitimin maksimal që mund të arrijë oscilatori gjatë procesit të oscilimit. Ekuacioni i fundit mund të shkruhet edhe në formën:

$$a = -\omega^2 y,$$

që dëshmon se nxitimi është proporcional me elongacionin e oscilatorit, por gjithmonë me kahje të kundërt me zhvendosjen.

Te çdo lëvizje osciluese harmonike, nxitimi i trupit që oscilon mund të shprehet nëpërmjet elongacionit, si në ekuacionin e mësipërm. Në këtë rast, faktori para elongacionit është i barabartë me katrorin e frekuencës rrethore të asaj lëvizje osciluese.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një oscilator harmonik oscilon me frekuencë këndore 0,5 rad/s. Amplituda e lëkundjes është 0,08 m. Shkruani ekuacionin që paraqet varësinë e elongacionit nga koha, nëse në çastin fillestar trupi ndodhet në pozitën e amplitudës.

zgjidhje:

Ekuacioni i lëvizjes harmonike oscilatore është:

$$y = A \cos(\omega t + \varphi_0).$$

Meqenëse në çastin fillestar $t = 0$ trupi ndodhet në pozicionin e amplitudës, zgjatimi i tij në atë çast është $y(0) = A$. Pra,

$$A = A \cos(\omega \cdot 0 + \varphi_0),$$

$$\cos \varphi_0 = 1.$$

Funksioni kosinus ka vlerën 1 për këndin 0° . Pra, faza fillestare është $\varphi_0 = 0$.

Duke zëvendësuar vlerat e dhëna

$$A = 0,08 \text{ m}, \quad \omega = 0,5 \text{ rad/s},$$

merret ekuacioni:

$$y = 0,08 \text{ m} \cdot \cos\left(0,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot t\right).$$



PYETJE DHE DETYRA

1. Jepni tre shembuj të lëvizjes periodike dhe tre shembuj të lëvizjes osciluese. Pse lëvizja osciluese është periodike, por jo çdo lëvizje periodike është osciluese?
2. Cilat madhësi fizike e karakterizojnë lëvizjen osciluese?
3. Çfarë është oscilatori harmonik?
4. Pse lëvizja osciluese vertikale e një trupit të varur në sustë mund të përshkruhet me të njëjtin ekuacion si lëvizja osciluese horizontale?
5. Ekuacioni i oscilatorit jepet me shprehjen $y = 0,04 \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{2}\right)$ ku amplituda jepet në metra, ndërsa koha në sekonda. Përcaktoni amplitudën, frekuencën rrethore, periodën dhe fazën fillestare.

Zgjidhja

$$1. 0,04 \text{ m}, \frac{\pi}{4} \text{ rad/s}, 8 \text{ s}, \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

6. Ekuacioni i një oscilatori jepet me shprehjen $y = 0,02 \sin \frac{\pi}{4}(2t + 1)$ ku amplituda jepet në metra ndërsa koha në sekonda. Përcaktoni amplitudën, frekuencën rrethore, periodën dhe fazën fillestare.

$$(Zgjidhja: 0,02 \text{ m}, \frac{\pi}{2} \text{ rad/s}, 4 \text{ s}, \frac{\pi}{4} \text{ rad}).$$

7. Amplituda e lëvizjes osciluese harmonike është 24 cm, ndërsa perioda është 3 s. Në çastin fillestar, elongacioni është zero dhe trupi lëviz në kahjen +y. Përcaktoni elongacionin, shpejtësinë dhe nxitimin në momentin $t=T/8$. (Zgjidhja: 17 cm, 35,5 cm/s, -74,5 cm/s²)

2.2. Shembuj të oscilatorëve harmonikë: oscilatori elastik dhe lavjerrësi matematik

Oscilatori elastik

Le të shqyrtojmë një trup me masë m , të lidhur me një sustë elastike me koeficient elasticiteti k , i cili ndodhet mbi një sipërfaqe horizontale të lëmuar (forcat e fërkimit shpërfillen). Nëse trupi zhvendoset nga pozita e ekuilibrit dhe më pas lihet i lirë, për shkak të veprimit të forcës elastike ai fillon të oscilojë (lëkundet). Në këtë mënyrë fitohet një **oscilator i thjeshtë elastik**.

Perioda e oscilimit të këtij oscilatori përcaktohet me formulën:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Sipas formulës, perioda e oscilimit të oscilatorit elastik varet nga masa e trupit dhe nga vetitë elastike të sustës. Perioda e oscilimit nuk varet nga amplituda. Oscilimi i oscilatorit elastik është paraqitur në figurën 1.

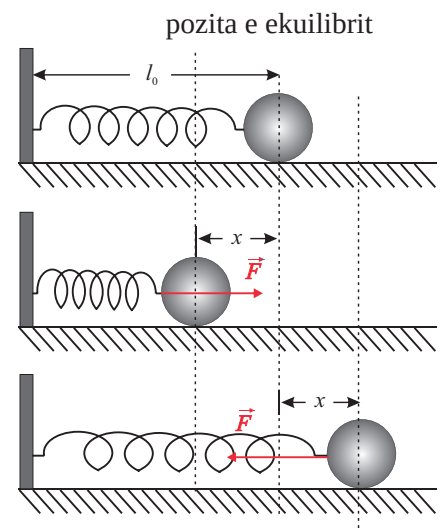


Figura 1. Oscilatori elastik. Forca që vepron mbi



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Duke zbatuar ligjin e Hukut dhe ligjin e dytë të Njutonit, përcaktoni ekuacionin e periodës së oscilimit të një oscilatori elastik, të përbërë nga një trup i lidhur me një sustë ideale.

Zgjidhje

Nëse x është elongacion, përkatësisht zhvendosja e trupit të matur në raport me pozitën e ekuilibrit. Sipas ligjit të Hukut, forca elastike me të cilën susta vepron mbi trupin është: $F = -kx$. Meqenëse kjo forcë është gjithmonë e kahëzuar kah pozita e ekuilibrit, ajo është forcë kthyesë dhe shënohet me shenjën minus.

Duke zbatuar ligjin e dytë të Njutonit $F = ma$, për lëvizjen osciluese fitohet:

$$ma = -kx \Rightarrow a = -\frac{k}{m}x.$$

Nxitimi është proporcional me elongacionin dhe ka kahje të kundërt me të. Kjo do të thotë se faktori para elongacionit është i barabartë me katrorin e frekuencës rrethore të lëvizjes osciluese (rikujtoni shpjegimin në paragrafin e fundit të mësimit të mëparshëm). Nga ekuacioni i përgjithshëm $a = -\omega^2 x$, për frekuencën rrethore të oscilatorit elastik fitojmë:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$



AKTIVITETI 1.

Aktiviteti 1: Kryeni një hulumtim për të përcaktuar se nga çfarë varet perioda T e një oscilatori të përbërë nga një sustë dhe një trup që oscilon në planin vertikal. Hulumtimi të zhvillohet në tri seri matjesh:

Varësia e T nga masa m (duke përdorur të njëjtën sustë).

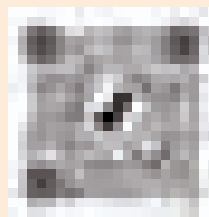
Varësia e T nga koeficienti i elasticitetit k (duke përdorur të njëjtën masë dhe susta të ndryshme).

Varësia e periodës së oscilatorit nga amplituda e oscilimit.

Paraqitini rezultatet në formë tabelare dhe grafike dhe shpjegoni procedurën e punës. Bëni një vlerësim të gabimit.

Shënim: Për hulumtimin mund të përdoret edhe simulimi PhET Masat dhe sustat (Masses and Springs), i cili mund të gjendet në faqen e mëposhtme të internetit:

<https://phet.colorado.edu/mk/simulations/masses-and-springs>



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Në dy susta të njëjta janë varur trupa me masa të ndryshme, raporti i të cilave është 4:1.

Cili është raporti i periodave të oscilimit të këtyre trupave?

Të dhënat: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{4}{1}$

Kërkohet: $\frac{T_1}{T_2} = ?$

Zgjidhje: Perioda e oscilimit harmonik të një trupi të varur në sustë është:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Meqenëse sustat janë të njëjta, vlera e k -së është e njëjtë për të dyja. Duke zëvendësuar në:

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}} = \sqrt{\frac{4}{1}} = 2.$$

Lavjerrësi matematik

Nëse varni dy sfera të vogla, njëren me masë shumë më të madhe se tjetra, në fije me gjatësi të njëjtë dhe i lini të oscilojnë nga e njëjta pikë fillestare, cila prej tyre mendoni se do të lëkundet më shpejt? Për t'iu përgjigjur kësaj pyetjeje, fizika përdor një model, të quajtur lavjerrës matematik. Çdo trup që mund të lëkundet, përkatësisht të oscilojë rreth një pike të palëvizshme që nuk përputhet me qendrën e tij të masës, quhet lavjerrës. Lavjerrësi matematik është modeli më i thjeshtë i lavjerrësit.

Lavjerrës matematik mund të konsiderohet çdo sistem i përbërë nga një trup me përmasa të papërfillshme, i varur në një fije që nuk zgjatet. Njëri skaj i fijes fiksohet në një pikë të palëvizshme, kështu që lavjerrësi matematik mund të oscilojë në planin vertikal.

Për të përshkruar lëvizjen osciluese të lavjerrësit matematik, do të shqyrtojmë një sferë të vogël me masë m , përmasat e së cilës mund të shpërfillen, të varur në një fije të pazgjatshme me gjatësi l . Nëse sfera zhvendoset nga pozita e ekuilibrit për një kënd të vogël θ dhe më pas lihet e lirë, ajo fillon të oscilojë rreth pozitës së ekuilibrit. Oscilimi zhvillohet në planin vertikal nën veprimin e forcës së rëndesës.

Le t'i shqyrtojmë forcat që veprojnë mbi sferën në dy pozitat e paraqitura në figurën 2. Kur fija ndodhet në pozitën e ekuilibrit, mbi sferën veprojnë forca e rëndesës $\vec{P}$ dhe forca e tendosjes së fijes $\vec{F}_z$ (figura 2, majtas). Në këtë pozitë, forca rezultante është zero, prandaj lavjerrësi matematik qëndron në prehje. Kur sfera zhvendoset nga pozita e ekuilibrit (figura 2, djathtas), mbi të përsëri veprojnë të njëjtat dy forca, por shuma e tyre është e ndryshme nga zero.

Kur sfera ndodhet në pozitën A, forca e rëndesës mund të zbërthehet në dy komponente:

- komponenta radiale (P_r), e kahëzuar përgjatë fijes;
- komponenta tangjenciale (P_t), e kahëzuar pingul me fijen.

Sfera lëviz me nxitim drejt pozitës së ekuilibrit për shkak të komponentës tangjenciale të forcës së rëndesës. Forca e tensionit të fijes dhe komponenta radiale e forcës së rëndesës janë pingule me kahjen e lëvizjes dhe bëjnë të mundur që lëvizja të zhvillohet përgjatë një harku rrethor.

Nga eksperimentet me lavjerrësin mund të vërehet se perioda T nuk varet nga masa e trupit, por nga gjatësia e fijes dhe nga nxitimi gravitacional. Për kënde të vogla të zhvendosjes (deri 10°), lavjerrësi matematik kryen lëvizje osciluese harmonike, ndërsa perioda e oscilimit përcaktohet me formulën:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

ku l është gjatësia e lavjerrësit, ndërsa g është nxitimi gravitacional i Tokës. Kështu arrijmë edhe te përgjigjja e pyetjes së parashtruar në fillim. Nëse dy sfera të vogla me masa të ndryshme varen në fije të pazgjatshme me gjatësi të njëjtë dhe zhvendosen nga pozita e ekuilibrit për kënde të vogla, pasi të lihen të lira, ato do të oscilojnë me perioda të njëjta. Kjo ndodh sepse perioda e lavjerrësit matematik nuk varet nga masa e sferës së varur në fije.

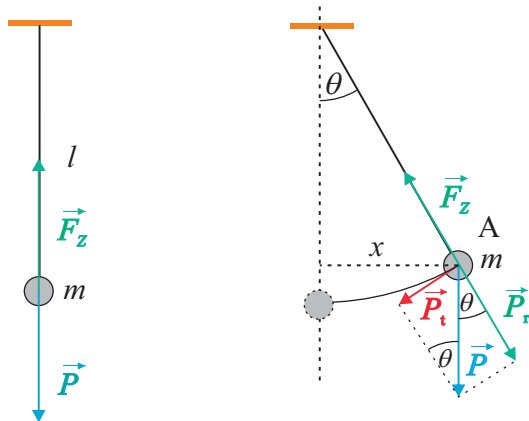


Figura 2. Dy pozita të topshit të varur në një fije



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Duke analizuar forcat që veprojnë mbi lavjerrësin matematik, përcaktoni se nga çfarë varet perioda e tij.

Zgjidhje:

Sipas figurës 2 (djathtas), sfera lëviz me nxitim drejt pozitës së ekuilibrit për shkak të komponentes tangjenciale të forcës së rëndesës, e cila është e barabartë me:

$P_t = mg \sin \theta$, ku $\sin \theta \approx \frac{x}{l}$. Në këtë mënyrë, për forcën kthyesë e cila është gjithmonë e kahëzuar drejt pozitës së ekuilibrit, fitohet ekuacioni: $P_t = -mg \frac{x}{l}$.

Sipas ligjit të dytë të Njutonit $F = ma$, përkatësisht $ma = -mg \frac{x}{l}$.

Atëherë, për nxitimin e trupit fitohet $a = -g \frac{x}{l}$.

Kjo shprehje tregon se nxitimi është proporcional me elongacionin, gjë që është karakteristike për lëvizjen osciluese harmonike. Formula e përgjithshme e nxitimit në lëvizjen osciluese harmonike është $a = -\omega^2 x$. Duke i krahasuar këto dy shprehje, fitojmë:

$$\omega^2 = \frac{g}{l} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}.$$

Meqenëse $\omega = \frac{2\pi}{T}$, për periodën e oscilimit të lavjerrësit matematik fitohet.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Ky rezultat tregon se perioda e lavjerrësit matematik varet vetëm nga gjatësia e fijes dhe nga nxitimi gravitacional i Tokës, ndërsa nuk varet nga masa e sferës. Për kënde të vogla, si në këtë rast, perioda e oscilimit nuk varet as nga amplituda e oscilimit.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Një lavjerrës matematik me gjatësi 2 m oscilon me kënde të vogla. Në malin Everest, nxitimi gravitacional është afërsisht $9,76 \text{ m/s}^2$ ndërsa në Polin e Jugut është $9,83 \text{ m/s}^2$. Për sa për qind perioda e lavjerrësit të vendosur në Everest është më e madhe (ose më e vogël) se perioda e lavjerrësit të vendosur në Polin e Jugut? Shpërfillni rezistencën e ajrit.

Të dhënat: $g_E = 9,76 \text{ m/s}^2$, $g_P = 9,83 \text{ m/s}^2$

Kërkohet: $\Delta T\% - ?$

Zgjidhje:

Periodën në Polin e Jugut dhe atë në malin Everest i shënojmë si: $T_P = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_P}}$ dhe $T_E = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_E}}$. Për krahasim marrim raportin e periodave:

$$\frac{T_E}{T_P} = \sqrt{\frac{g_P}{g_E}} = \sqrt{\frac{9,83}{9,76}} \approx 1,0036 \Rightarrow \Delta T = 0,36\%.$$

Perioda e lavjerrësit të vendosur në malin Everest është 0,36% më e madhe se perioda e të njëjtit lavjerrës në Polin e Jugut.

Duke matur periodën dhe gjatësinë e lavjerrësit matematik, mund të përcaktohet në mënyrë eksperimentale vlera e nxitimit gravitacional.



AKTIVITETI 2.

Duke përdorur metodën shkencore, planifikoni dhe kryeni një eksperiment për të përcaktuar vlerën e nxitimit gravitacional të Tokës në vendin ku jetoni.

Hapi 1: Duke përdorur materialet e nevojshme, planifikoni eksperimentin. Materialet e nevojshme: fije, sferë e vogël metalike, mbajtëse (stativ), shirit matës, kronometër (ose telefon celular) dhe kalkulator.

Hapi 2: Përcaktoni ndryshoret e pavarura, të varura dhe të kontrolluara.

Hapi 3: Parashtroni një hipotezë.

Hapi 4: Kryeni eksperimentin. Përgatitni një tabelë dhe shënoni rezultatet në të. Kini parasysh me sa vijon:

- Lavjerrësi zhvendoset për kënde të vogla (më të vogla se 10°),
- Matet koha e 20 lëkundjeve të plota,
- Matja përsëritet disa herë për gjatësi të ndryshme të lavjerrësit.

Pse është më mirë të matet koha e disa lëkundjeve dhe pse matja duhet të përsëritet disa herë?

Hapi 5: Përcaktoni periodën e oscilimit (lëkundjes). Vizatoni grafikun e varësisë së T^2 nga l . Nga grafiku përcaktoni pjerrësinë e drejtëzës dhe llogaritni vlerën e g . Krahasoni vlerën e fituar me vlerën tabelare dhe kontrolloni saktësinë e hipotezës së parashtruar.

Shënim: Për hulumtimin mund të përdoret edhe simulimi PhET Laboratori i lavjerrësit (Pendulum Lab) në faqen e mëposhtme të internetit:

<https://phet.colorado.edu/mk/simulations/pendulum-lab>



Edhe pse lavjerrësi matematik dhe oscilatori elastik kryejnë lëvizje të thjeshtë osciluese harmonike, perioda dhe frekuenca e oscilimit të tyre nuk përshkruhen me të njëjtën formulë. Arsyeja është se në këto dy sisteme forca kthyesë ka natyrë të ndryshme, prandaj perioda varet nga madhësi fizike të ndryshme.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Parimi i lavjerrësit matematik gjen zbatim të rëndësishëm në sizmologji, shkencën që studion tërmetet dhe strukturën e brendshme të Tokës. Në modelet bazë të sizmometrave, një trup masiv lidhet me një mekanizëm që i mundëson të qëndrojë përafërsisht në pozitën e ekuilibrit, ndërkohë që bazamenti (sipërfaqja e Tokës) lëkundet (oscilon) gjatë tërmetit. Për shkak të inercisë, trupi nuk e ndjek menjëherë lëvizjen e bazamentit, por mbetet prapa. Në këtë mënyrë regjistrohet lëvizja relative ndërmjet trupit dhe Tokës.

Kjo sjellje është e ngjashme me atë të lavjerrësit matematik, ku trupi masiv mund të konsiderohet si masë e përqendruar. Lëkundjet që shfaqen janë rezultat i forcave kthyesë dhe mund të analizohen nëpërmjet të njëjtave ligje fizike që zbatohen për lëkundjet e lavjerrësit matematik. Duke matur periodën, amplitudën dhe kohëzgjatjen e lëkundjeve, fitohen të dhëna për fuqinë e tërmetit dhe për vetitë e mjedisit nëpër të cilin përhapen valët sizmike.

Përveç kësaj, lavjerrësi matematik ka luajtur një rol të rëndësishëm historik në matjen e nxitimit gravitacional. Meqenëse perioda e lavjerrësit varet nga g , matja e periodës për një gjatësi të njohur me saktësi mundëson përcaktimin e vlerës lokale të nxitimit gravitacional të Tokës. Këto matje kanë treguar se vlera e g nuk është e njëjtë në të gjitha vendet e Tokës, gjë që lidhet me formën e saj dhe me strukturën e brendshme jo të njëtrajtshme.



PYETJE DHE DETYRA

1. Si do të ndryshojë perioda e lavjerrësit matematik nëse i njëjti lavjerrës zhvendoset nga Toka në Hënë, ku nxitimi gravitacional është afërsisht gjashtë herë më i vogël? Sa do të jetë perioda e lavjerrësit nëse ai ndodhet në gjendje të papeshë? (Zgjidhja: 2,45 herë më e madhe se perioda në Tokë).
2. Çfarë do të ndodhë me periodën e lavjerrësit matematik nëse gjatësia e fijes në të cilën është varur sfera zvogëlohet në një të katërtën e gjatësisë fillestare, ndërsa të gjitha kushtet tjera mbeten të pandryshuara?
3. Pse perioda e oscilatorit elastik varet nga masa e trupit, ndryshe nga perioda e lavjerrësit matematik?

4. Si do të ndryshojë perioda e oscilimit të një oscilatori elastik nëse përdoret një sustë me koeficient më të madh elasticiteti?
5. Në çfarë lartësie mbi sipërfaqen e Tokës perioda e oscilimit të lavjerrësit matematik do të dyfishohet? Merrni se rrezja e Tokës është 6400 km. (Zgjidhja: 6400 km)
6. Dy lavjerrës matematikë lëkunden me kënde të vogla. Lavjerrësi i parë kryen 48 lëkundje në minutë dhe ka gjatësi 0,8 m. Për sa duhet të ndryshojë gjatësia e lavjerrësit të dytë krahasuar me të parin, në mënyrë që ai të kryejë 36 lëkundje në minutë? (Zgjidhja: 0,62 m)
7. Një sustë, në të cilën është varur një trup, lëkundet duke kryer 60 lëkundje në minutë. Si dhe sa herë duhet të ndryshojë masa e trupit, në mënyrë që sistemi të kryejë 40 lëkundje në minutë? (Zgjidhja: $m_2 = 2,25m_1$)

2.3. Energjia e lëvizjes osciluese

Lëvizja osciluese shoqërohet me ndryshimin e vazhdueshëm të energjisë potenciale dhe kinetike, ndërsa energjia e përgjithshme mekanike e sistemit mbetet konstante. Që të fillojë oscilimi, sistemi duhet të nxirret nga pozita e ekuilibrit, përkatësisht atij duhet t'i jepet energji. Kur një trup që mund të oscilojë e zhvendosim nga pozita e ekuilibrit dhe e sjellim në pozitën fillestare (të amplitudës), kryejmë punë mbi sistemin. Nëpërmjet kësaj pune, sistemit i japim energji mekanike, e cila në atë pozitë ruhet në formën e energjisë potenciale, ndërsa energjia kinetike është e barabartë me zero. Puna e kryer gjatë zhvendosjes së trupit nga pozita e ekuilibrit në pozitën e amplitudës është e barabartë me rritjen e energjisë potenciale të sistemit, përkatësisht vlen:

$$A = \Delta E_p.$$

Te oscilatori harmonik elastik, për të cilin keni mësuar në vitin e parë, energjia potenciale e sustës së deformuar varet nga zhvendosja e saj prej pozitës së ekuilibrit. Nëse oscilatorin e zhvendosim nga pozita e ekuilibrit për një largësi A , atëherë energjia e tij potenciale në pozitën e amplitudës është:

$$E_{p,\max} = \frac{kA^2}{2}.$$

Kjo energji është energjia e përgjithshme mekanike që i është dhënë oscilatorit harmonik elastik.

Pasi trupi lihet i lirë, nën veprimin e forcës kthyesë ai fillon të lëvizë drejt pozitës së ekuilibrit dhe vendoset në lëvizje osciluese. Energjia që i është dhënë sistemit nuk humbet, por gjatë oscilimit shndërrohet vazhdimisht nga energji potenciale në energji kinetike dhe anasjelltas. Duke iu afruar pozitës së ekuilibrit, trupi lëviz me shpejtësi gjithnjë e më të madhe. Për këtë arsye, energjia kinetike rritet në llogari të zvogëlimit të energjisë potenciale. Pasi kalon nëpër pozitën e ekuilibrit, trupi, për shkak të inercisë, vazhdon të largohet prej saj. Gjatë kësaj lëvizjeje, shpejtësia e trupit zvogëlohet, ndërsa energjia kinetike shndërrohet në energji potenciale.

Në një moment të çfarëdoshëm gjatë lëvizjes osciluese, sistemi ka energji kinetike E_k , e cila varet nga shpejtësia e trupit, dhe energji potenciale E_p , e cila përcaktohet nga pozita e tij në raport me pozitën e ekuilibrit, përkatësisht nga madhësia e elongacionit. Energjia e përgjithshme mekanike e sistemit është e barabartë me shumën e këtyre dy energjive dhe shënohet si:

$$E = E_k + E_p$$

Nëse mund të shpërfillen forcat e fërkimit, rezistenca e ajrit dhe forcat e tjera që shkaktojnë humbje të energjisë, zbatohet ligji i ruajtjes së energjisë mekanike. Sipas këtij ligji, energjia e përgjithshme E mbetet konstante gjatë oscilimit. Edhe pse energjia kinetike dhe ajo potenciale ndryshojnë me kalimin e kohës, shumën e tyre ka vlerë konstante.

Kur trupi kalon nëpër pozitën e ekuilibrit, energjia potenciale është minimale, ndërsa energjia kinetike arrin vlerën e saj maksimale. Në këtë rast, energjia kinetike e trupit është:

$$E_{k,\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2},$$

ku m është masa e trupit, ndërsa $v_{\max}$ është shpejtësia e tij gjatë kalimit nëpër pozitën e ekuilibrit.

Me largimin e trupit nga pozita e ekuilibrit, shpejtësia e tij zvogëlohet, ndërsa energjia kinetike shndërrohet në energji potenciale. Energjia potenciale e oscilatorit elastik është e barabartë me energjinë potenciale elastike të sustës dhe jepet me shprehjen:

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$

ku k është koeficienti i elasticitetit të sustës, ndërsa x është elongacioni. Në pozitën e amplitudës, elongacioni arrin vlerën maksimale, përkatësisht $x = \pm A$, ndërsa shpejtësia e trupit është zero. Prandaj, energjia kinetike është zero dhe e gjithë energjia mekanike e sistemit është në formën e energjisë potenciale. Në këtë pozitë, energjia potenciale arrin vlerën e saj maksimale:

$$E_{p,\max} = \frac{kA^2}{2}.$$

Meqenëse energjia e përgjithshme e sistemit është e njëjtë në të gjitha pozitat, energjia e përgjithshme e lëvizjes osciluese mund të shprehet nëpërmjet energjisë potenciale maksimale dhe të shënohet si:

$$E = E_k + E_p = \frac{kA^2}{2}.$$

Kjo shprehje tregon qartë se energjia e përgjithshme e oscilatorit, në çdo pikë dhe në çdo moment të kohës, është proporcionale me katrorin e amplitudës dhe nuk varet nga koha.

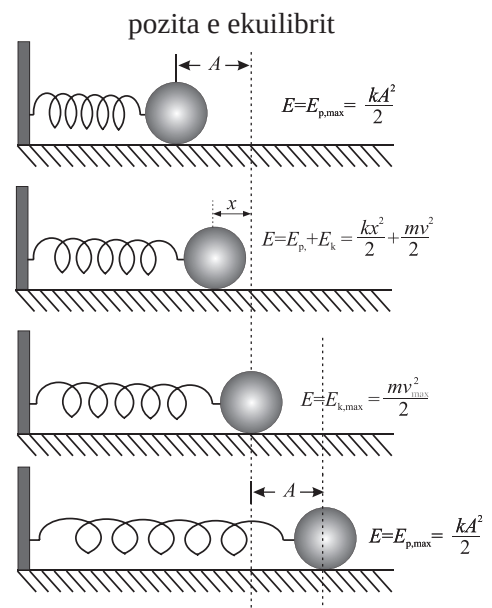


Figura 1. Energjia e oscilatorit elastik në katër pozita të ndryshme



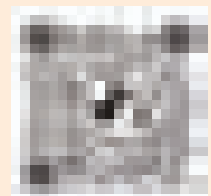
AKTIVITETI 2.

Ligji i ruajtjes së energjisë të oscilatori harmonik

Me ndihmën e një simulimi kompjuterik interaktiv, shqyrtoni se si ndryshojnë energjia kinetike dhe ajo potenciale të një oscilator harmonik dhe verifikoni ligjin e ruajtjes së energjisë mekanike në rastin ideal.

Procedura

- Hapni simulimin PhET Masat dhe sustat („Masses and Springs“) dhe zgjidhni pjesën Energjia („Energy“) në faqen e mëposhtme të internetit: https://phet.colorado.edu/sims/html/masses-and-springs/latest/masses-and-springs_all.html?utm_source=chatgpt.com
- Rregulloni oscilatorin në mënyrë që:
 - Të mos ketë fërkim (damping = 0).
 - Trupi të jetë i varur në një sustë të vendosur vertikalisht.



3. Tërhiqeni trupin poshtë nga pozita e ekuilibrit dhe çojeni në pozitën e amplitudës
4. Lëshojeni trupin dhe vëzhgoni lëvizjen e tij osciluese.
5. Ndiqni energjitë e paraqitura:
 - Energjinë kinetike E_k .
 - Energjinë potenciale (elastike) E_p .
 - Energjinë e përgjithshme mekanike E .
6. Shënoni vlerat e energjive:
 - Kur trupi kalon nëpër pozitën e ekuilibrit.
 - Kur trupi ndodhet në pozitën e amplitudës.
7. Përsëriteni procedurën me amplitudë më të madhe dhe krahasoni energjinë e përgjithshme mekanike në të dyja rastet.
8. Më pas aktivizoni fërkimin (damping $\neq 0$) dhe vëzhgoni se si ndryshon energjia mekanike me kalimin e kohës.

Pyetje për analizë dhe përfundime

1. Në cilën pozitë energjia kinetike arrin vlerën maksimale?
2. Në cilat pozita energjia potenciale është më e madhe?
3. A ndryshon energjia e përgjithshme mekanike kur nuk ka fërkim? Shpjegoni.
4. Si ndikon rritja e amplitudës në energjinë e përgjithshme mekanike?
5. Çfarë ndodh me energjinë mekanike kur në sistem ka fërkim?
6. Ku «zhduket» një pjesë e energjisë mekanike kur gjatë lëvizjes osciluese ka fërkim?



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Në një largësi prej 2 cm nga pozita e ekuilibrit, energjia kinetike dhe energjia potenciale e oscilatorit harmonik janë të barabarta. Përcaktoni amplitudën e oscilatorit.

Zgjidhje: Te oscilatori harmonik, energjia e përgjithshme mekanike është:

$$E = \frac{1}{2}kA^2,$$

dhe energjia potenciale në largësinë nga pozita e ekuilibrit është: $E_p = \frac{1}{2}ky^2$.

Atëherë, energjia kinetike është: $E_k = E - E_p = \frac{1}{2}k(A^2 - y^2)$. Nga kushti i detyrës $E_k = E_p$, prandaj kemi: $\frac{1}{2}ky^2 = \frac{1}{2}k(A^2 - y^2)$. Duke thjeshtuar faktorin e përbashkët $\frac{1}{2}k$, marrim: $y^2 = A^2 - y^2$, nga ku: $A^2 = 2y^2$, ose $A = \pm y\sqrt{2}$. Për $y = \pm 2\text{ cm}$, përfitohet $A = 2\sqrt{2}\text{ cm} \approx 2,83\text{ cm}$.

Përgjigjet e pyetjeve 5 dhe 6 të Aktivitetit 2 tregojnë se, në prani të forcave të fërkimit ose të rezistencës së mjedisit, energjia e përgjithshme mekanike e oscilatorit nuk mbetet më konstante. Në kushte reale, sistemet osciluese u nënshtrohen gjithmonë forcave të tilla si fërkimi dhe rezistenca e mjedisit. Për shkak të tyre, një pjesë e energjisë mekanike të sistemit shndërrohet në energji të brendshme (nxehhtësi), ndërsa energjia e përgjithshme mekanike zvogëlohet me kalimin e kohës.

Si pasojë, energjia potenciale maksimale $\frac{kA^2}{2}$ zvogëlohet dhe, bashkë me të, zvogëlohet gradualisht edhe amplituda A . Kjo lëvizje osciluese, amplituda e së cilës zvogëlohet me kalimin e kohës, quhet lëvizje osciluese e shuar. Gjatë lëvizjes osciluese të shuar, raporti i amplitudave të dy oscilimeve të njëpasnjëshme, në të njëjtën anë të pozitës së ekuilibrit, mbetet konstant dhe mund të shënohet me ekuacionin:

$$\frac{A_0}{A_1} = \frac{A_1}{A_2} = \frac{A_2}{A_3} = \dots = \frac{A_{n-1}}{A_n} = \beta$$

Nga ekuacion i fundit mund të tregohet lehtësisht se:

$$\frac{A_0}{A_n} = \beta^n,$$

përkatësi

$$A_n = A_0 \beta^{-n}.$$

Për kohën $t = nT$ janë kryer n oscilime, prandaj $n = \frac{t}{T}$, kështu që ekuacioni për amplitudën e oscilimit të n - të është:

$$A_n = A_0 \beta^{-\frac{t}{T}}.$$

Konstanta β quhet **faktor i shuarjes** dhe varet nga forcat e fërkimit. Sa më e madhe të jetë vlera e β aq më shpejt zvogëlohet amplituda me çdo oscilim.

Në lëvizjet osciluese të shuara, pas një kohe mjaft të gjatë, oscilimet pushojnë plotësisht. Amplituda e tyre zvogëlohet më shpejt kur humbjet e energjisë janë më të mëdha, përkatësisht kur sistemi i transmeton mjedisit një sasi më të madhe energjie gjatë çdo oscilimi. Megjithatë, nëse në një sistem të tillë vepron një **forcë e jashtme** periodike, një pjesë e energjisë që humb sistemi kompensohet. Në këtë mënyrë parandalohet shuarja e plotë e oscilimeve. Në këto kushte, lëvizja e sistemit nuk përcaktohet vetëm nga vetitë e tij (masa e oscilatorit, konstanta elastike e sustës e të ngjashme), por edhe nga karakteristikat e forcës së jashtme. Sistemi vazhdon të oscillojë nën veprimin e kësaj force, ndërsa oscilimet mbahen falë furnizimit të vazhdueshëm me energji nëpërmjet punës së kryer nga forca e jashtme. Lëvizjet e tilla osciluese quhen **oscilime të detyruara**.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Një sferë e vogël e lidhur me një sustë oscilon në një mjedis me rezistencë, prandaj amplituda zvogëlohet me kalimin e kohës. Në momentin fillestar, amplituda është 12 cm. Pas pesë oscilimeve të plota, ajo zvogëlohet në 7,5 cm. Perioda e oscilimit është 0,80 s.

a) Përcaktoni faktorin e shuarjes.

b) Përcaktoni pas sa oscilimeve dhe pas sa kohe amplituda do të bëhet më e vogël se 3,0 cm.

Të dhënat: $A_0 = 12 \text{ cm}$, $A_5 = 7,5 \text{ cm}$, $T = 0,80 \text{ s}$

Kërkohet: a) β - ? b) n - ? , t - ?

Zgjidhje:

a) Për kohën $t = 5T$ 5T janë bërë $n = 5$ oscilime.

Ekuacioni për amplitudën e lëkundjes së n -të është: $A_n = A_0 \beta^{-n}$.

Për $n = 5$: $A_5 = A_0 \beta^{-5}$. Prej këtui: $\beta^5 = \frac{A_0}{A_5} = 1,6 \Rightarrow \beta = \sqrt[5]{1,6} = 1,1$.

b) Kërkojmë numrin e oscilimeve për të cilat vlen: $A_n < 3,0 \text{ cm}$.

Përdorim: $\ln A_n = \ln A_0 - n \ln \beta \Rightarrow n = \frac{1}{\ln \beta} \ln \frac{A_0}{A_n} = 14,5.$

Meqenëse numri i oscilimeve duhet të jetë numër i plotë : $n = 15$ oscilime. Koha e nevojshme për atë zvogëlim është $t = nT = 15 \cdot 0,80s = 12s.$

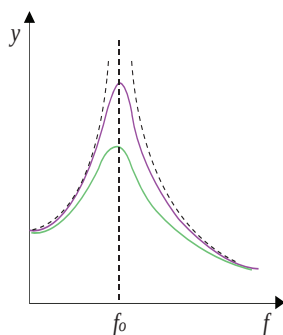


MËSO MË SHUMË

Le të shqyrtojmë dy lavjerrës matematikë, të varur pranë njëri-tjetrit në një mbajtës elastik. Gjatësia e lavjerrësve mund të ndryshohet. Kur njëri prej tyre zhvendoset nga pozita e ekuilibrit dhe lihet i lirë, ai fillon të oscilojë. Pas një kohe të shkurtër, nëpërmjet mbajtësit të përbashkët, një pjesë e energjisë së oscilimit të tij i transmetohet edhe lavjerrësit tjetër, i cili gjithashtu fillon të oscilojë. Duke ndryshuar gjatësinë e lavjerrësve, vërehet se lavjerrësi i dytë oscilon me amplitudën më të madhe kur të dy lavjerrësit kanë gjatësi të njëjtë, përkatësisht të njëjtën frekuencë vetjake.

Ky demonstrim tregon se shkëmbimi i energjisë ndërmjet sistemeve osciluese është më efikas kur frekuencat e tyre vetjake janë të barabarta. Dukuria gjatë së cilës një oscilator merr sasinë më të madhe të energjisë nga një burim i jashtëm që oscilon me të njëjtën frekuencë quhet rezonancë. Sistemi që transmeton energjinë quhet oscilator nxitës, ndërsa sistemi që e merr energjinë quhet rezonator.

Kur mbi një oscilator vepron një forcë e jashtme periodike, amplituda e oscilimit të tij varet nga frekuenca e kësaj force. Amplituda më e madhe arrihet kur frekuenca e forcës së jashtme është e barabartë me frekuencën vetjake të oscilatorit. Kjo frekuencë quhet frekuenca e rezonancës.



Në kushte ideale, pa shuarje, amplituda gjatë rezonancës do të rritej pa kufi. Megjithatë, në kushte reale ekzistojnë gjithmonë forcat e fërkimit dhe të rezistencës së mjedisit, prandaj një pjesë e energjisë mekanike humbet. Për këtë arsye, amplituda maksimale gjatë rezonancës ka vlerë përfundimtare.

Sa më e theksuar të jetë shuarja, aq më e vogël është amplituda gjatë rezonancës dhe aq më e gjerë është lakorja e rezonancës. Në këtë rast, frekuenca e rezonancës zhvendoset drejt vlerave më të ulëta në krahasim me frekuencën vetjake të oscilatorit, siç paraqitet në grafikun majtas.

Rezonanca mund të ketë edhe pasoja të dëmshme. Nëse mbi një sistem vepron një forcë me frekuencë të barabartë ose shumë të afërt me frekuencën e tij vetjake, amplituda e oscilimit rritet gradualisht. Nëse kjo rritje bëhet mjaft e madhe, sistemi mund të dëmtohet ose të shkatërrohet plotësisht.

Një shembull i tillë është ura Takoma në SHBA, ku veprimi i erës me fuqi mesatare shkaktoi oscilime rezonante. Për shkak të veprimit të vazhdueshëm të një force me frekuencë të afërt me frekuencën vetjake të urës, amplituda e oscilimit të saj u rrit me shpejtësi, duke shkaktuar shembjen e urës brenda një kohe të shkurtër.





PYETJE DHE DETYRA

1. Si do të zhvillohet shndërrimi i energjisë nëse oscilatori vihet në oscilim nga pozita e ekuilibrit me një shpejtësi fillestare?
2. Si ndikon prania e një fërkimi më të madh në shpejtësinë e humbjes së energjisë së oscilatorit?
3. Një trup i lidhur me një sustë kryen oscilime të detyruara nën veprimin e një force të jashtme periodike. Shpjegoni pse gjatë oscilimeve të detyruara energjia e përgjithshme mekanike e oscilatorit nuk rritet me kalimin e kohës, edhe pse forca e jashtme kryen vazhdimisht punë.
4. Një trup me masë m oscilon në mënyrë harmonike me amplitudë A . Çfarë ndodh me energjinë e përgjithshme të oscilimit të sistemit kur amplituda e oscilimit të trupit dyfishohet?
5. Një oscilator harmonik oscilon me frekuencë 4 Hz. Në momentin fillestar, trupi ndodhet në pozitën e amplitudës. Pas sa kohe energjia kinetike e oscilatorit do të jetë e barabartë me një të tretën e energjisë së përgjithshme mekanike të sistemit? (Zgjidhja: 0, 024s)
6. Amplituda e një oscilatori të shuar zvogëlohet me 5,0% gjatë çdo oscilimi. Sa për qind e energjisë mekanike të oscilatorit humbet gjatë çdo oscilimi? (Zgjidhja: 9,75 %)
7. Një trup i lidhur me një sustë kryen oscilime të shuara për shkak të rezistencës së mjedisit. Në momentin fillestar, energjia mekanike e oscilatorit është 2 J. Pas katër oscilimeve të plota, amplituda e oscilatorit është zvogëluar në gjysmën e vlerës fillestare.
 - a) Sa është energjia mekanike e oscilatorit pas katër oscilimeve?
 - b) Sa për qind e energjisë fillestare është shndërruar në një formë tjetër energjie gjatë këtij intervali kohor? (Zgjidhja: 0,5J, 75 %)

2.4. Valët mekanike

Nëse hedhim një gur të vogël në ujë të qetë, në sipërfaqe shfaqen valë rrethore që përhapen nga vendi i goditjes (figura 1). Valët largohen nga burimi dhe përhapen në të gjitha drejtimet radiale. Nëse mbi sipërfaqen e ujit ndodhet një gjeth ose ndonjë trup tjetër i lehtë, do të vërejmë se ai lëviz lart e poshtë, por nuk zhvendoset së bashku me valën në kahjen e përhapjes së saj. Pasi vala kalon, gjethi mbetet në të njëjtin vend ku ndodhej më parë.

Nga ky shembull mund të përfundojmë se gjatë lëvizjes valore nuk bartet materia, por lëkundja, përkatësisht ngacmimi nëpër mjedis.

Për të kuptuar më mirë se si krijohet vala dhe si përhapet kjo lëkundje, le ta shqyrtojmë procesin e formimit të saj me anë të një shembulli më të thjeshtë. Le të marrim një litar të gjatë dhe njërin skaj të tij e lëvizim me dorë lart e poshtë (figura 2).

Në këtë rast, dora paraqet një (lëkundës) oscilator, përkatësisht një trup që lëkundet rreth pozitës së vet të ekuilibrit. Grimcat e litarit që janë në kontakt të drejtpërdrejtë me dorën fillojnë të lëkunden nën veprimin e forcave elastike ndërmjet molekulave të litarit. Nëpërmjet të njëjtave forca elastike, ato i detyrojnë të lëkunden edhe grimcat fqinje. Në këtë mënyrë, lëkundja përhapet gradualisht nga njëra grimcë te tjetra përgjatë litarit.



Figura 1. Valët në sipërfaqen e ujit

Kjo mënyrë e përhapjes së lëvizjes lëkundëse nëpër një mjedis elastik quhet valë mekanike. Te valët mekanike, çdo grimcë e mjedisit lëkundet rreth pozitës së vet të ekuilibrit dhe ia bart energjinë grimcës fqinje, pa kryer lëvizje translative. Shkurt, vala mekanike mund të kuptohet si **përhapja e lëkundjes përgjatë një vargu oscilatorësh të ndërlidhur**.



Figura 2. Formimi i valës

Trupi që shkakton lëkundjen e mjedisit, në këtë shembull dora, quhet **burimi i valës**. Ngacmimi (oscilimi) bartet përgjatë gjithë litarit, por grimcat nuk «udhëtojnë» së bashku me valën; ato vetëm lëkunden rreth pozitive të tyre të ekuilibrit. Dora (burimi i valës) i bart një pjesë të energjisë së saj grimcës së parë, kjo ia bart grimcës vijuese e kështu me radhë.

Nga sa u tha më sipër, rrjedh se për përhapjen e valës mekanike është i domosdoshëm një **mjedis material (elastik)**. Meqenëse në vakum nuk ka grimca që mund të lëkunden dhe të bartin energjinë, valët mekanike nuk mund të përhapen në vakum.

Për analizën e mëtejshme të lëvizjes valore, duhet të përkufizohen disa nocione me të cilat do të përshkruajmë gjeometrisht përhapjen e valës në hapësirë. Le t'u rikthehemi valëve që krijohen kur një gur i vogël godet sipërfaqen e qetë të ujit. Në momentin kur guri godet sipërfaqen e lirë të ujit, krijohet një ngacmim lokal dhe grimcat në atë pikë fillojnë të lëkunden. **Vendi gjeometrik i grimcave të mjedisit, tek të cilat vala ka arritur në një moment të caktuar, quhet fronti i valës**. Fronti i valës paraqet kufirin ndërmjet pjesës së mjedisit ku grimcat tashmë kanë filluar të lëkunden dhe pjesës ku ato ende nuk kanë filluar të lëkunden. Me kalimin e kohës, fronti i valës zhvendoset nëpër hapësirë.

Sipërfaqja valore është vendi gjeometrik i të gjitha pikave të mjedisit që në një moment të caktuar lëkunden në të njëjtën mënyrë, përkatësisht kanë elongacion të njëjtë dhe lëvizin në të njëjtin drejtim. Mund të thuhet se sipërfaqja valore është vendi gjeometrik i pikave që gjatë procesit valor, lëkunden me të njëjtën fazë. Kjo do të thotë se të gjitha grimcat e së njëjtës sipërfaqe valore, në të njëjtin moment, ose ngrihen, ose ulen. Fronti i valës paraqet një rast të veçantë të sipërfaqes valore.

Në varësi të formës së frontit të valës, valët mekanike mund të ndahen në disa lloje. Më së shpeshti shqyrtohen:

- **vala e rrafshët** (figura 3a), tek e cila fronti i valës është një rrafsh; valë të tilla përftohen kur burimi është, për shembull, një shufër e drejtë që lëkundet pjesërisht e zhytur në një shtresë uji.

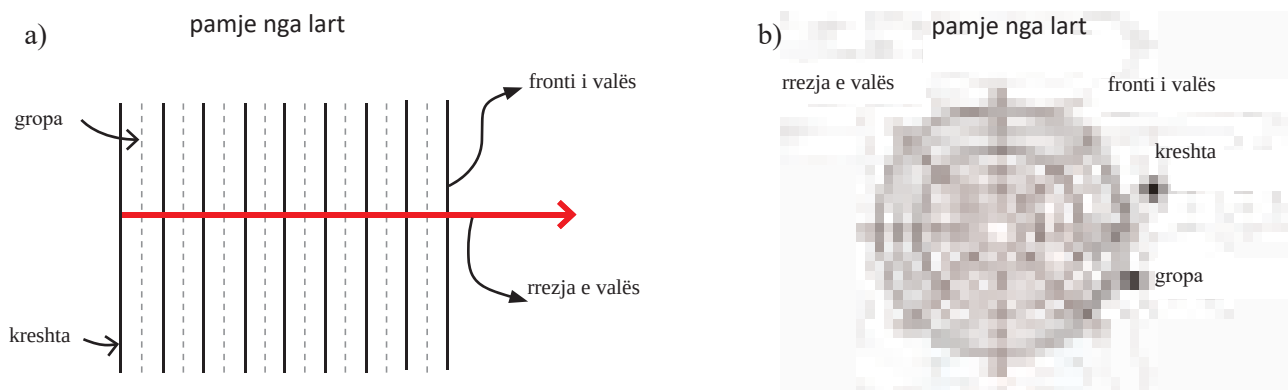


Figura 3. Fronti dhe rrezja e valës, të shikuar nga lart: a) valë e rrafshët; b) valë sferike.

- Vala sferike (figura 3b), tek e cila fronti i valës është një sferë me qendër në burim; valë të tilla krijohen nga lëkundja e një burimi pikësor, siç janë valët e prodhuara nga një burim zanor në ajër.

Kahja në të cilën përhapet vala paraqitet me një vijë të quajtur rreze e valës. Rrezja e valës është një vijë pingule me frontin e valës dhe tregon kahjen e bartjes së energjisë së saj. Te valët e rrafshëta, rrezet e valës janë vija të drejta paralele, ndërsa te valët sferike ato janë vija radiale që dalin nga burimi.

Valët transversale dhe longitudinale

Sipas kahjes së lëkundjes së grimcave në raport me rrezen e valës, dallojmë:

- Valët transversale (tërthore) (figura 4a) janë valë tek të cilat grimcat e mjedisit lëkunden pingul me drejtimin e përhapjes së valës.

- Valët longitudinale (gjatësore) (figura 4b) janë valë tek të cilat grimcat e mjedisit lëkunden në drejtimin e përhapjes së valës.



Figura 4. Valë transversale dhe longitudinale në një sustë-lodër të gjatë)

Valët transversale

Te valët mekanike transversale, grimcat e mjedisit lëkunden **pingul me kahjen e përhapjes së valës**. Për shkak të kësaj lëkundjeje, në një moment të caktuar mjedisi merr formë të valëzuar, në të cilën mund të dallohen **kreshtat dhe gropat e valës** (figura 5a).

Kreshta e valës është pozita në të cilën grimca ka zhvendosjen më të madhe mbi pozitën e ekuilibrit, ndërsa **gropa e valës** është pozita në të cilën ajo ka zhvendosjen më të madhe nën pozitën e ekuilibrit. Këto nocione përshkruajnë **gjendjen e lëkundjes së grimcave në një moment të caktuar** dhe jo lëvizjen e tyre përgjatë valës. Nocionet kreshtë dhe gropë lidhen me formën e valëzuar që merr mjedisi në tërësi në një moment të caktuar. Një oscilator i vetëm nuk mund të ketë formë valore.

Meqenëse çdo grimcë kryen lëvizje osciluese harmonike, lëkundja e saj karakterizohet nga **amplituda**. Te valët transversale, amplituda është e barabartë me largësinë nga pozita e ekuilibrit deri te pozita e kreshtës ose e gropës së valës.

Gjatë përhapjes së valës transversale ndryshon forma e mjedisit, ndërsa pasi valëzimi pushon, mjedisi rikthehet në formën e tij fillestare. Shembuj të valëve mekanike transversale janë valët që përhapen përgjatë një teli të tendosur, në membranën e daullës dhe në sipërfaqen e ujit.

Valët longitudinale

Te valët mekanike longitudinale, grimcat e mjedisit lëkunden në kahjen e përhapjes së valës. Gjatë kësaj lëvizjeje krijohen pjesë të mjedisit ku grimcat janë të vendosura më dendur dhe pjesë ku ato janë të vendosura më rrallë (figura 4b). Në këto pjesë të mjedisit ndodhin ngjeshja (dendësimi) dhe zgjerimi (rrallimi). Në këtë rast nuk ndryshon forma e mjedisit, por dendësia e tij.

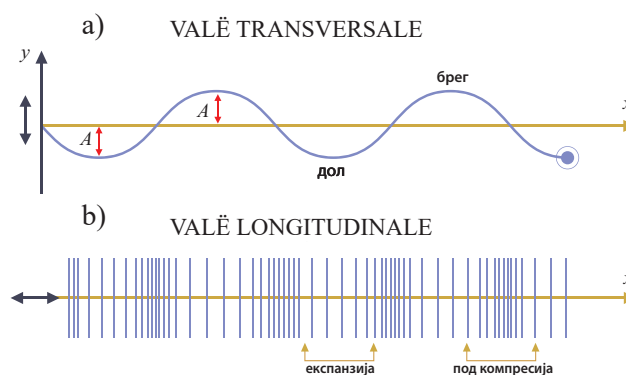


Figura 5. Paraqitje skematike e një vale transversale dhe e një vale longitudinale

Meqenëse ndryshime të tilla të dendësisë mund të shfaqen në gaze, lëngje dhe trupa të ngurtë, valët mekanike longitudinale mund të përhapen nëpër të gjitha mjediset. Shembulli më i njohur i valës mekanike longitudinale është **zëri**.

Madhësitë themelore të lëvizjes valore

Edhe pse grimcat fillojnë të lëkunden në momente të ndryshme, të gjitha lëkunden me të njëjtën frekuencë f , e cila është e barabartë me frekuencën e lëkundjes së burimit të valës. Frekuenca lidhet me periodën e lëkundjes T nëpërmjet relacionit:

$$f = \frac{1}{T}.$$

Dallimi ndërmjet lëkundjeve të grimcave të veçanta, nëpër të cilat përhapet lëvizja valore, qëndron në **fazën e lëkundjes**. Faza tregon se ku ndodhet grimca në ciklin e vet të lëkundjes në një moment të caktuar, përkatësisht përcakton pozitën dhe kahjen e lëvizjes së saj. Ajo varet nga largësia prej burimit dhe nga koha që i nevojitet valës për të arritur te grimca përkatëse. Një madhësi tjetër e rëndësishme fizike, me të cilën përshkruhet lëvizja valore, është **gjatësia valore λ** .

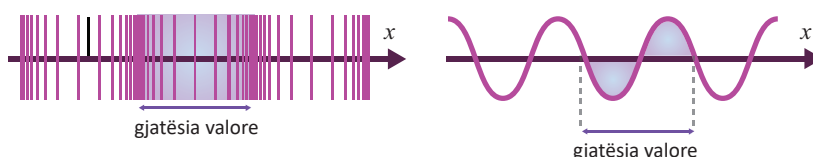


Figura 6. Gjatësia valore e një vale transversale dhe e një vale longitudinale

Ajo paraqet **largësinë ndërmjet dy grimcave fqinje që lëkunden me të njëjtën fazë** (figura 6).

Shpejtësia e valës v paraqet shpejtësinë e bartjes së lëkundjes nëpër mjedis dhe ndryshon nga shpejtësia me të cilën lëkunden grimcat. Shpejtësia e valës varet nga vetitë fizike (elastike) të mjedisit dhe nga lloji i valës (transversale ose longitudinale).

Nëse mjedisi është homogjen, shpejtësia e valës është konstante. Gjatë një intervali kohor të barabartë me periodën T të një lëkundjeje të burimit, vala përshkon një largësi të barabartë me gjatësinë valore λ , prandaj:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

Gjatë kalimit të valës nga njëri mjedis në tjetrin, ndryshojnë shpejtësia dhe gjatësia e saj valore, ndërsa frekuenca mbetet e njëjtë sepse përcaktohet nga frekuenca e burimit.:



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Nëpër një mjedis përhapet një valë me frekuencë 120 Hz dhe amplitudë 4 mm. Gjatësia valore e kësaj vale është 20 cm. Krahasoni shpejtësinë e valës me shpejtësinë maksimale të lëkundjes së një grimce.

Të dhënat:

$$f = 120 \text{ Hz}, A = 4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}, \lambda = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$$

$$\text{Kërkohet: } \frac{v}{v_{\max}} - ?$$

Zgjidhje Shpejtësia e valës është $v = \lambda f$, përkatësisht $v = 0,20 \cdot 120 = 24 \text{ m/s}$.

Për lëkundjen harmonike, shpejtësia maksimale e lëkundjes së një grimce është $v_{\max} = \omega A$ ku $\omega = 2\pi f$.

Prandaj, $\omega = 2\pi \cdot 120 = 240\pi \text{ rad/s}$ dhe $v_{\max} = 240\pi \cdot 0,004 = 0,96\pi \approx 3,02 \text{ m/s}$.

$$\text{Nga kjo rrjedh: } \frac{v}{v_{\max}} = \frac{24}{3,02} \approx 8.$$

Barazimi i valës

Barazimi i valës përshkruan lëkundjen e çdo pike të mjedisit nëpër të cilin përhapet vala në çdo moment të kohës. Në fakt, ai paraqet barazimin e një oscilatori harmonik, i cili përsëritet në çdo pikë të mjedisit por me fazë të ndryshme. Meqenëse grimcat e mjedisit lëkunden me kalimin e kohës, elongacioni duhet të varet nga koha t . Njëkohësisht, meqenëse vala përhapet në hapësirë, lëkundja e grimcave varet edhe nga largësia e tyre x prej burimit të valës. Prandaj, gjatë lëvizjes valore, elongacioni i grimcave është funksion i dy ndryshoreve: pozitës dhe kohës.

Le të supozojmë se vala përhapet në kahjen pozitive të boshtit x . Atëherë, për një valë harmonike, varësia e elongacionit mund të shkruhet me barazimin:

$$y = A \cos(\omega t - kx),$$

ku y është elongacioni i grimcës, A është amplituda e valës, ω është frekuenca rrethore, ndërsa k është numri valor, i cili lidhet me gjatësinë valore nëpërmjet shprehjes $k = \frac{2\pi}{\lambda}$. Numri valor shprehet në rad/m. Shenja „-“ para anëtarit kx tregon se vala përhapet në kahjen pozitive të boshtit x . Nëse vala përhapet në kahjen e kundërt, barazimi do të ketë formën:

$$y = A \cos(\omega t + kx).$$

Ky barazim nuk mund të paraqitet plotësisht në sistemin koordinativ kënddrejtë të Dekartit, sepse elongacioni varet nga dy ndryshore të pavarura. Prandaj, mënyra më e përshtatshme për paraqitjen e tij është animacioni, nëpërmjet të cilit mund të ndiqet lëkundja e çdo grimce në varësi të kohës.

Në grafik zakonisht paraqitet pamja e valës në një moment të caktuar, përkatësisht forma e saj në atë moment. Pikërisht kjo është paraqitur në figurat 5 dhe 6.

Funksioni kosinus është i përshtatshëm për përshkrimin e lëvizjes valore sepse edhe lëkundja harmonike e grimcave përshkruhet me të njëjtin lloj funksioni. Nëse për pozitën e grimcës që lëkundet marrim, për shembull, $x=0$, barazimi i valës shndërrohet në barazimin e oscilatorit harmonik.

Anëtarit kx tregon se si përsëritet vala në hapësirë, përkatësisht se lëkundja e grimcave përsëritet pas çdo gjatësie valore. Prandaj, nëpërmjet gjatësisë valore λ , përkufizohet numri valor $k = 2\pi / \lambda$.

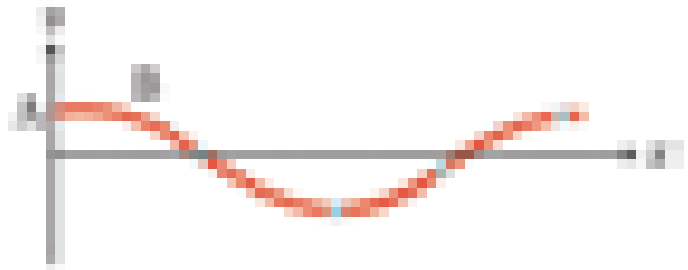


Figura 7. Paraqitja grafike e një vale. Kini parasysh se boshtet janë y dhe x , që do të thotë se kjo është një «fotografi e valës», përkatësisht paraqitja e saj në një moment të caktuar $t = t_1$. Te oscilatori harmonik, grafikët kishin boshtet x dhe t dhe paraqitnin varësinë e pozitës nga koha.



SHENBULL I ZGJIDHUR 2.

Duke u nisur nga barazimi i oscilatorit harmonik, përfitoni barazimin e një vale të rrafshët harmonike që përhapet në kahjen pozitive të boshtit x , nëpër një mjedis elastik ideal.

Zgjidhje:

Lëkundjen e burimit të valës (figura 7, pika A) e përshkruajmë me barazimin $y = A \cos(\omega t)$, ku A është amplituda ndërsa ω është frekuenca këndore e lëkundjes.

Meqenëse vala përhapet me shpejtësi përfundimtare v , grimcat e mjedisit nuk fillojnë të lëkunden njëkohësisht. Grimca që ndodhet në largësinë x nga burimi (figura 7, pika B) nuk fillon të lëkundet menjëherë. grimcat e mjedisit nuk fillojnë të lëkunden njëkohësisht. Grimca që ndodhet në largësinë x nga burimi (figura 7, pika B) nuk fillon të lëkundet menjëherë τ , e cila është e barabartë me kohën që i nevojitet

valës për të përshkuar largësinë x , pra $\tau = \frac{x}{v}$. Nga kjo rrjedh se grimca që ndodhet në largësinë x nga burimi do të lëkundet sipas ligjit:

$$y = A \cos \omega(t - \tau) = A \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right).$$

galaktikë e largët $\omega = \frac{2\pi}{T}$ dhe —, fitohet :

$$\omega \frac{x}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} x.$$

Nëse e marrim parasysh numrin valor $k = 2\pi / \lambda$ për një valë të rrafshët harmonike, që përhapet në kahjen pozitive të boshtit x fitojmë barazimin:

$$y = A \cos \left(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x \right) \Rightarrow y = A \cos(\omega t - kx).$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Një valë përshkruhet me barazimin: $y = 0,5 \cos \pi(0,25t - x)$. Të gjitha madhësitë janë shprehur në njësitë themelore. Përcaktoni amplitudën, frekuencën dhe shpejtësinë e valës

zgjidhje:

Barazimi i përgjithshëm i valës harmonike është: $y = A \cos(\omega t - kx)$.

Duke e krahasuar me barazimin e dhënë: $y = 0,5 \cos(\pi \cdot 0,25t - \pi x)$, Duke e krahasuar me barazimin e dhënë:

- amplituda është koeficienti para kosinusit: $A = 0,5 \text{ m}$.

- koeficienti para kohës t në argument është frekuenca rrethore:

$$\omega = \pi \cdot 0,25 = 0,25\pi \text{ rad/s}, \text{ ndërsa frekuenca është: } f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{0,25\pi}{2\pi} = 0,125 \text{ Hz}.$$

- koeficienti para x është numri valor: $k = \pi \text{ rad/m}$.

- shpejtësia e valës është: $v = \frac{\omega}{k} = \frac{0,25\pi}{\pi} = 0,25 \text{ m/s}$.

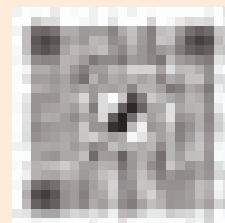


AKTIVITETI 1.

Shqyrtoni varësinë e energjisë nga amplituda dhe frekuenca

Procedura

1. Hapni simulimin PhET Vala përgjatë një teli të tendosur (Wave on a String) në faqen e mëposhtme të internetit: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_all.html



2. Vendosni parametrat si më poshtë::
 - Shuarja: (Damping = None), që të mos ketë humbje të energjisë së valës.
 - Fund (End = No End) (që të mos krijohet valë e reflektuar)
 - Tensionja e telit të jetë konstante: (Tension = Constant)
3. Zgjidhni opsionin (Oscillate) si burim të valës..
4. Vendosni një amplitudë dhe frekuencë fillestare dhe vëzhgoni energjinë e valës.
5. Dyfishoni frekuencën pa e ndryshuar amplitudën.
6. Vëzhgoni se si ndryshon energjia që transmeton vala gjatë një periode.
7. Riktheni frekuencën fillestare dhe përgjysmoni amplitudën.
9. Përgjigjuni pyetjeve të mëposhtme:
 - Si ndryshon energjia kur rritet frekuenca?
 - Si ndryshon energjia kur zvogëlohet amplituda?

Energjia dhe intensiteti i valës

Nëpërmjet valës mekanike, **energjia mekanike** bartet nga njëra pikë e mjedisit në tjetrën. Grimcat e mjedisit nuk zhvendosen së bashku me valën, por lëkundet rreth pozitave të tyre të ekuilibrit. Energjia kalon nga njëra grimcë te tjetra..

Energjia mekanike e valës paraqet **shumën e energjisë kinetike dhe potenciale** të grimcave që lëkundet në një pjesë të caktuar të mjedisit:

$$E = E_k + E_p.$$

Nga mësimet e mëparshme dimë se **energjia e përgjithshme mekanike e një oscilatori harmonik** është konstante dhe mund të shprehet nëpërmjet energjisë potenciale në pozitën e amplitudës, kur grimca në atë moment ndodhet në prehje. Te vala mekanike **nuk lëkundet vetëm një grimcë**, por një numër i madh grimcash të mjedisit, të shpërndara në hapësirë. Secila prej tyre lëkundet me të njëjtën frekuencë rrethore ω dhe me të njëjtën amplitudë A , por me fazë të ndryshme.

Nëse shqyrtojmë një pjesë të vogël të mjedisit, me një vëllim të caktuar ΔV dhe dendësi ρ , në të ndodhet një numër i madh grimcash që lëkundet. Meqenëse energjia e çdo grimce-oscilator është proporcionale me A^2 dhe ω^2 , edhe energjia e përgjithshme e valës varet nga këto madhësi. Energjia e përgjithshme e valës në atë pjesë të mjedisit është e barabartë me shumën e energjive të të gjithë këtyre oscilatorëve. Për një valë mekanike harmonike, kjo shumë mund të shkruhet me shprehjen:

$$E = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 \Delta V.$$

Barazimi tregon se sasia e energjisë që bart vala varet nga amplituda e lëkundjes, nga vetitë e mjedisit dhe nga frekuenca e valës. **Energjia e valës mekanike është proporcionale me katrorin e amplitudës.** Kjo do të thotë se, nëse amplituda e valës dyfishohet, energjia e bartur rritet katër herë.

Intensiteti i valës është energjia që ajo bart për njësi kohe nëpër njësi sipërfaqeje të vendosur pingul me drejtimin e përhapjes. Intensiteti përkufizohet me shprehjen:

$$I = \frac{E}{S \Delta t} = \frac{P}{S},$$

ku P është fuqia e valës. Njësia matëse e intensitetit të valës është W/m^2 .



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Një valë përhapet nëpër një mjedis homogjen me shpejtësi konstante. Çfarë do të ndodhë me energjinë që bart vala gjatë një periode, nëse:

- a) frekuenca e valës dyfishohet, ndërsa amplituda nuk ndryshon?
b) amplituda e valës përgjysmohet, ndërsa frekuenca nuk ndryshon?

Zgjidhje:

Energjia e valës mekanike në një pjesë të caktuar të mjedisit është në përpjesëtim të drejtë me katrorin e amplitudës dhe me katrorin e frekuencës rrethore: $E \sim A^2 \omega^2$.

Gjatë një periode T , vala përparon për një gjatësi valore, prandaj nëpër çdo sipërfaqe pingule kalon energjia që mbart ajo pjesë e valës. Meqenëse shpejtësia e valës është konstante, energjia e transmetuar gjatë një periode është në përpjesëtim të drejtë me:

$$E_T \sim A^2 \omega^2 T. \text{ meqenëse: } \omega = 2\pi f \text{ dhe } T = \frac{1}{f}, \text{ fitohet: } E_T \sim A^2 f.$$

a) nëse: $f' = 2f$, ndërsa amplituda mbetet e njëjtë, atëherë: $E'_T \sim A^2 2f = 2E_T$.

B) nëse: $A' = \frac{A}{2}$, ndërsa frekuenca mbetet e njëjtë, atëherë: $E'_T \sim \left(\frac{A}{2}\right)^2 f = \frac{1}{4}E_T$.



MËSO MË SHUMË

Le të shqyrtojmë krijimin dhe përhapjen e një vale transversale përgjatë një litari. Në figurën 7 paraqitet se si përhapet lëkundja përgjatë litarit (ose nëpër një mjedis tjetër elastik) gjatë një periode T , përkatësisht gjatë intervalit kohor brenda të cilit burimi kryen një lëkundje të plotë.

Në momentin $t = 0$ të gjitha grimcat e litarit ndodhen në pozitën e ekuilibrit. Grimca e parë, e cila paraqet burimin e valës, merr një impuls të drejtuar lart dhe fillon të lëkundet. Me kalimin e kohës, për shkak të forcave elastike në litar, lëkundja bartet gradualisht nga njëra grimcë te tjetra. Në këtë mënyrë, çdo grimcë fillon të lëkundet njësoj si burimi, por me një vonesë të caktuar kohore (figura 8).

Pas kalimit të kohës $t = T$, burimi ka kryer një lëkundje të plotë, ndërsa lëkundja ka arritur te grimca e pestë, e cila lëkundet me të njëjtën fazë si grimca e parë. Kjo tregon se gjatë lëvizjes valore lëkundja përhapet nëpër mjedis, ndërsa grimcat lëkunden rreth pozitive të tyre të ekuilibrit.

Energjia mekanike e valës është e barabartë me shumën e energjisë kinetike dhe potenciale të të gjitha grimcave që lëkunden në një pjesë të mjedisit me vëllim ΔV . Pra:

$$E = E_k + E_p.$$

Nëse energjia mekanike e një grimce me masë m_0 jepet me barazimin për energjinë e oscilatorit harmonik.

$$E_1 = \frac{1}{2} m_0 \omega^2 A^2,$$

për energjinë e përgjithshme mekanike të valës që zë vëllimin ΔV fitohet:

$$E = NE_1 = N \frac{1}{2} m_0 \omega^2 A^2 = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2,$$

ku $m = Nm_0$.

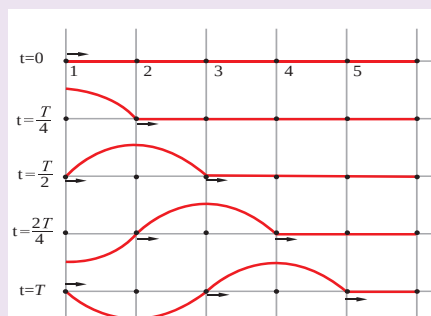


Figura 8. Përhapja e valës transversale

Meqenëse $m = \rho \Delta V$, fitohet:

$$E = \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 \Delta V.$$

Energjia e një pjese të valës në një mjedis është proporcionale me katrorin e amplitudës së lëkundjes



PYETJE DHE DETYRA

1. Trego dallimet ndërmjet valëve transversale dhe longitudinale..
2. Nga se varet shpejtësia e valës që përhapet në një mjedis homogjen?
3. Si ndryshon intensiteti i valës që përhapet në një mjedis të caktuar nëse frekuenca e burimit rritet, ndërsa amplituda mbetet e njëjtë?
4. A duhet dy pika të cilat në të njëjtit moment kanë elongacion të barabartë y të lëkunden në fazë? Shpjegoni.
5. Vala është e përshkruar me barazimin: $y = 0,05 \sin 2\pi(0,2t - 4x)$. Të gjitha madhësitë janë të shprehura në njësi themelore. Përcakto amplitudën, frekuencën dhe shpejtësinë e valës. (Zgjidhja: 0,05m; 0,2Hz; 0,05m/s.)
6. Nëpër të njëjtin tel të tendosur përhapen dy valë transversale me amplituda dhe frekuenca të ndryshme. Fillimisht përhapet një valë me amplitudë 1 cm dhe frekuencë 12 Hz, ndërsa më pas një valë tjetër me amplitudë 2 cm dhe frekuencë 6 Hz. Përcakto raportin e energjive të të dyja valëve dhe raportin e intensiteteve të të dyja valëve. (Zgjidhja: $E_1 / E_2 = 1$, $I_1 / I_2 = 1$)

2.5. Pasqyrimi dhe përthyerja e valëve

Pasqyrimi dhe përthyerja e valëve

Që një valë të krijohet dhe të përhapet, duhet të ekzistojë një burim. Çdo valë ka një front të valës, i cili paraqet sipërfaqen që ndan grimcat që lëkunden nga grimcat që ende nuk kanë filluar të lëkunden. Gjatë përhapjes së valës, fronti i saj largohet nga burimi dhe një numër gjithnjë e më i madh grimcash të mjedisit fillojnë të lëkunden.

Formimi i një fronti të ri të valës në momentin $t + \Delta t$ përcaktohet nga pozita e frontit të valës në momentin t dhe mund të përshkruhet në mënyrën e mëposhtme:

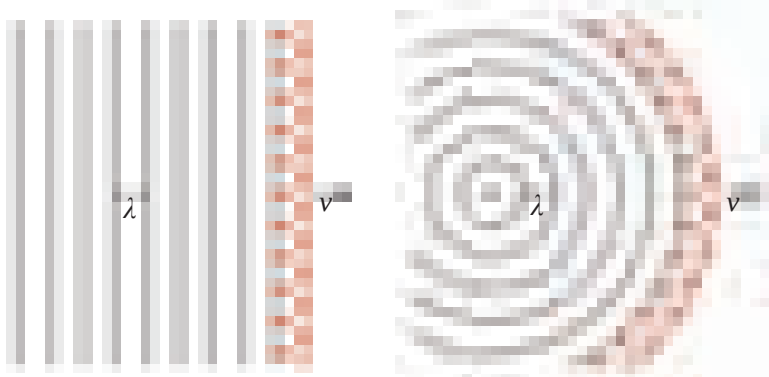


Figura 1. Përftimi i një vale të rrafshët (majtas) dhe i një vale sferike (djathtas).

Çdo front i valës mund të konsiderohet si një bashkësi e përbërë nga shumë pika.

1. Çdo pikë e frontit të valës sillet si një **burim sekondar**, i cili krijon **valë sekondare** (valë të vogla sferike).
2. Pas një kohe të caktuar, çdo valë sekondare ka **frontin e vet të vogël të valës**.
3. Fronti i ri i valës fitohet si mbështjellësja e përbashkët e të gjitha valëve sekondare

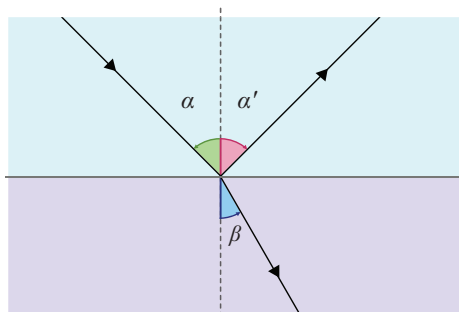


Figura 2. Paraqitja e pasqyrimit dhe e përrhyerjes së valëve nëpërmjet rrezeve të tyre.

Nëse mjedisi është **izotrop** (ka veti fizike të njëjta në të gjitha drejtimet), fronti i valës e ruan formën e vet; përkatësisht, vala e rrafshët mbetet e rrafshët, ndërsa vala sferike mbetet sferike (figura 1). Kjo mënyrë e përshkrimit të përhapjes së valëve quhet **parimi i Hajgens–Frenelit**.

Kur vala arrin në sipërfaqen ndarëse ndërmjet dy mjediseve elastike me veti të ndryshme, ajo pasqyrohet pjesërisht dhe përrhyet pjesërisht, duke ndryshuar drejtimin e përhapjes. Në figurën 2 janë paraqitur rrezja rrëzëse, rrezja e pasqyruar dhe rrezja e përrhyer. Këndet α , α' dhe β janë përkatësisht këndi i rrënies, këndi i pasqyrimit dhe këndi i përrhyerjes, të matur në raport me normalen e sipërfaqes ndarëse.

Pasqyrimi i valëve

Kur hedhim një top prej gome vertikalisht poshtë drejt dyshemesë, pas goditjes ai kthehet prapa pa e ndryshuar drejtimin e lëvizjes, por ndryshon vetëm kahjen. Nëse topi hidhet drejt dyshemesë nën një kënd ndaj normales së ngritur në pikën e goditjes, ai do të kërcejë nga dyshemeja dhe do ta ndryshojë drejtimin e lëvizjes. Këndi me të cilin topi godet dyshemenë është i barabartë me këndin me të cilin ai largohet prej saj. Në mënyrë të ngjashme sillen edhe valët. Kur një valë e rrafshët arrin në sipërfaqen ndarëse ndërmjet dy mjediseve, ajo pasqyrohet, ndërsa edhe vala e pasqyruar mbetet e rrafshët. Gjatë pasqyrimit të valëve, **vala rrëzëse, normalja e sipërfaqes ndarëse dhe vala e pasqyruar ndodhen në të njëjtin rrafsh, ndërsa këndi i pasqyrimit është i barabartë me këndin rrëzës, përkatësisht:**

$$\alpha = \alpha'.$$



AKTIVITETI 1.

Hulumto pasqyrimin e valëve në sipërfaqen e ujit dhe vërteto se këndi i pasqyrimit është i barabartë me këndin rrëzës.

Materiali i nevojshëm:

- Enë e cekët me ujë
- Vizore me të cilën do të ngacmohen valët
- Pllakëz, dërrasë e hollë prej druri ose pengesë plastike.

Procedura

1. Mbushe enën e cekët me ujë. Uji duhet të ketë thellësi më të vogël se 1 cm.
2. Zhyt letrën e rrafshët ose vizoren në ujë dhe shkakto lëkundje të barabarta. Me këtë do të krijohen valë të rrafshhta që përhapen në ujë.
3. Vendos një pengesë të rrafshët në enë nën një kënd prej 45° në raport me kahjen e përhapjes së valëve.
4. Vëzhgo se çfarë ndodh kur valët hasin në pengesë.
5. Bëj një fotografi ose video dhe mat këndin e rrënies dhe këndin e pasqyrimit



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Shpjegoni pasqyrimin e valëve me anë të parimit të Hajgens–Frenelit.

Zgjidhja: Në figurën 3 është paraqitur një valë e rrafshët, fronti i së cilës arrin te një pengesë e rrafshët nën një kënd të caktuar. Fronti i valës rrëzëse është shënuar me AC. Meqenëse fronti i valës godet pengesën nën një kënd, pjesët e ndryshme të tij nuk e prekin pengesën në të njëjtin moment. Pika A e prek e para, ndërsa pika B e prek pengesën me vonesë.

Sipas parimit të Hajgens–Frenelit, çdo pikë e frontit të valës që prek pengesën bëhet burim i një vale sekondare. Kështu, në momentin kur vala prek pengesën në pikën A, nga ajo pikë fillon të përhapet një valë sekondare. Derisa vala të arrijë edhe në pikën B, vala sekondare nga pika A tashmë është përhapur. Pozita e re e frontit të valës fitohet si një vijë që i prek valët sekondare në të njëjtin moment. Kjo vijë paraqet frontin DB të valës së pasqyruar.

Nga gjeometria e figurës rrjedh se këndi me të cilin vala bie mbi pengesën është i barabartë me këndin e pasqyrimit, përkatësisht vlen ligji:

$$\alpha = \alpha'.$$

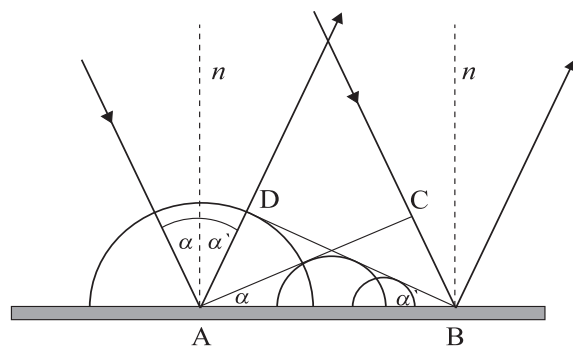


Figura 3. Shpjegimi i dukurisë së pasqyrimt të valëve me anë të parimit të Hajgens–Frenelit

Shpejtësia e valës në mjedise të ndryshme

Shpejtësia e valës përgjatë një teli të tendosur

Telat e kitarës kanë të njëjtën gjatësi dhe ngacmohen në mënyrë të ngjashme, por nuk tingëllojnë njësoj (figura 4). Arsyeja nuk qëndron në mënyrën e ngacmimit të tyre, por në vetitë e vetë telave. Disa tela janë më të hollë, disa më të trashë dhe mund të jenë të tendosur në mënyra të ndryshme. Te një tel më i hollë ose më i tendosur, lëkundjet e grimcave barten më lehtë, prandaj shpejtësia e valës është më e madhe. Te një tel më i trashë ose më pak i tendosur, lëkundja fillestare bartet më ngadalë. Prandaj, edhe pse ngacmimi i telave mund të jetë i njëjtë, shpejtësia e përhapjes së valës është e ndryshme, gjë që shkakton frekuenca të ndryshme të lëkundjes dhe lartësi të ndryshme të tingullit.

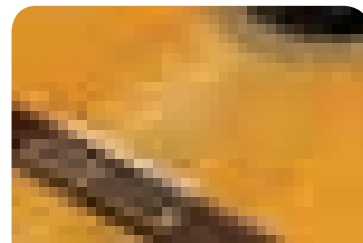


Figura 4. Tela me diametra dhe tendosje të ndryshme – i njëjti ngacmim, shpejtësi të ndryshme të valës

Shpejtësia e valës transversale që përhapet përgjatë një teli ose një fijeje të tendosur është:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}},$$

ku F është forca me të cilën tendoset teli, përkatësisht fija, ndërsa μ është dendësia lineare e telit ose e fijej.

Dendësia lineare është e barabartë me masën e telit të pjesëtuar me gjatësinë e tij $\mu = \frac{m}{l}$.

Shpejtësia e valëve longitudinale në substanca të ngurta

Substancat e ngurta mund të përfytyrohen si një varg grimcash të bashkuara ndërmjet tyre me anë të lidhjeve elastike, të ngjashme me susta të vogla. (figura 5). Kur një grimcë zhvendoset nga pozita e ekuilibrit, ajo i deformon lidhjet me grimcat fqinje dhe lëkundja përhapet në mjedis. Shpejtësia me të cilën bartet lëkundja varet nga vetitë elastike dhe dendësia e substancës. Shpejtësia me të cilën përhapen valët mund të llogaritet me barazimin:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

ku E është moduli i elasticitetit të Jungut, i cili është një madhësi karakteristike për trupat e ngurtë dhe

tregon se sa mund të zgjatet materiali nën veprimin e një force të caktuar, ndërsa ρ është dendësia e substancës.

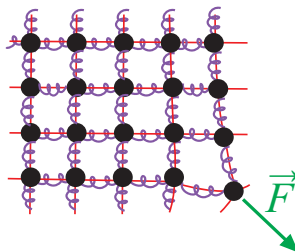


Figura 5. Nëse një grimcë ngacmohet me anë të një force F , vala do të përhapet për shkak të forcave elastike ndërmjet grimcave.

Shpejtësia e valës longitudinale në lëngje

Në lëngje, valët longitudinale përhapen në trajtën e ngjeshjeve dhe rrallimeve periodike të grimcave të mjedisit. Shpejtësia e përhapjes së një vale të tillë varet nga vetitë mekanike të lëngut, përkatësisht nga ngjeshshmëria dhe dendësia e tij. Shpejtësia v e përhapjes së valëve longitudinale në një lëng shprehet me formulën:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}},$$

ku B është moduli vëllimor i elasticitetit të lëngut, i cili tregon se sa i reziston lëngu ngjeshjes, ndërsa ρ është dendësia e lëngut.

Shpejtësia e valës longitudinale në gaze

Në gaze, grimcat nuk janë të lidhura me lidhje elastike të përhershme, por valët longitudinale përhapen njësoj si në lëngje, nëpërmjet ngjeshjeve dhe rrallimeve. Shpejtësia e valës longitudinale varet nga shtypja e gazit (p) dhe nga dendësia e tij (ρ). Shpejtësia e valëve longitudinale në një gaz ideal mund të llogaritet me formulën:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{p}{\rho}},$$

ku γ është koeficienti adiabatik (konstanta e Puasonit), vlera numerike e të cilit varet nga numri i atomeve në grimcën përbërëse të gazit. Për një gaz njëatomik, vlera e tij është 1,67; për një gaz dyatomik është 1,40; ndërsa për gazet triatomike dhe shumëatomike koeficienti adiabatik është 1,33. Duke përdorur barazimin e gazit ideal, shpejtësia mund të shkruhet edhe në formën:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}},$$

ku me R shënohet konstanta universale e gazeve $R = 8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, M është masa molare e gazit ndërsa T është temperatura e tij.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Një valë transversale përhapet përgjatë një teli të tendosur me forcë 30 N. Një metër i telit ka masë 5 g. Largësia ndërmjet dy grimcave fqinje, të cilat në të njëjtin moment ndodhen në pozitën e ekuilibrit, është 0,5 m. Përcaktoni shpejtësinë dhe gjatësinë valore të valës.

Të dhënat: $F = 30 \text{ N}$, $\mu = 5 \text{ g/m} = 0,005 \text{ kg/m}$, $d = 0,5 \text{ m}$

Kërkohet: v ?, λ ?

Zgjidhje:

Për një valë transversale në një tel të tendosur, shpejtësia e valës është: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = 77,46 \text{ m/s}$.

Te një valë sinusoidale, grimcat ndodhen në pozitën e ekuilibrit kur $y = 0$, gjë që përsëritet në çdo largësi $\lambda / 2$ përgjatë telit.

prandaj: $d = \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \lambda = 2d = 2 \cdot 0,5 = 1,0 \text{ m}$.

Përthyerja e valëve

Kur një automobil lëviz në një rrugë të asfaltuar dhe njëra nga rrotat e përparme kalon në një sipërfaqe me rërë, ajo fillon të lëvizë me shpejtësi më të vogël, ndërsa rrota tjetër vazhdon të lëvizë mbi asfalt me shpejtësi më të madhe. Për shkak të ndryshimit të shpejtësive të dy rrotave, automobili ndryshon drejtimin e lëvizjes dhe kthehet nga ana ku lëvizja është më e ngadalshme.

Në mënyrë të ngjashme sillen edhe valët. Kur fronti i valës bie nën një kënd mbi sipërfaqen ndarëse ndërmjet dy mjediseve, në të cilat vala përhapet me shpejtësi të ndryshme, pjesët e ndryshme të frontit fillojnë të lëvizin me shpejtësi të ndryshme. Si pasojë, vala ndryshon drejtimin e përhapjes. Kjo dukuri, gjatë së cilës vala ndryshon drejtimin e përhapjes kur kalon nga njëri mjedis në tjetrin, quhet **përthyerje (refraksion) e valëve** (shih figurën 2).



AKTIVITETI 2.

Të hulumtohet përthyerja (refraksioni) e valëve në sipërfaqen e ujit dhe të përcaktohet varësia ndërmjet shpejtësisë dhe gjatësisë valore të valës gjatë kalimit nga uji më i thellë në ujë më të cekët.

Materiali i nevojshëm:

- Enë e cekët me ujë
- Dërrasëz e hollë ose vizore për krijimin e valëve.
- Pllakëz qelqi me lartësi të vogël (për krijimin e një pjese më të cekët të enës)

Procedura

1. Mbushe enën me ujë. Sipërfaqja e ujit duhet të jetë e qetë.
2. Në një pjesë të enës vendos pllakëzën e qelqit me lartësi të vogël, ashtu që në atë pjesë uji të jetë më i cekët, kurse pjesa tjetër të mbetet më e thellë.
3. Me dërrasën e drurit ose me vizoren që lëkundet në ujë, krijo valë të rrafshët. Valët të krijohen me të njëjtën frekuencë.
4. Vëzhgoni se çfarë ndodh kur valët arrijnë në sipërfaqen ndarëse ndërmjet pjesës më të thellë dhe pjesës më të cekët të ujit.
5. Vëreni ndryshimin e drejtimin të përhapjes së valëve dhe krahasoni gjatësinë valore në pjesën më të thellë dhe në pjesën më të cekët të enës.

Përgjigju në pyetjet e mëposhtme:

1. Çfarë ndodh me drejtimin e përhapjes së valëve kur ato kalojnë nga uji më i thellë në ujë më të cekët?
2. Si ndryshon gjatësia valore e valës në ujin e cekët krahasuar me atë në ujin më të thellë?
3. Nëse frekuenca e valës përcaktohet nga burimi dhe mbetet e njëjtë, ndërsa gjatësia valore zvogëlohet, çfarë mund të përfundoni për shpejtësinë e valës në ujin e cekët?

Vëzhgimet tregojnë se, gjatë kalimit të valës nga uji më i thellë në ujë më të cekët, ndryshojnë drejtimi i përhapjes dhe gjatësia e saj valore. Frekuenca e valës përcaktohet nga burimi dhe mbetet e njëjtë gjatë kalimit nga njëri mjedis në tjetrin. Meqenëse ndërmjet shpejtësisë v , frekuencës f dhe gjatësisë valore λ vlen relacioni $v = \lambda f$, ndryshimi i gjatësisë valore, kur frekuenca mbetet e njëjtë, nënkupton se ndryshon edhe shpejtësia e përhapjes së valës.

Gjatë kalimit në mjedisin e dytë, pjesët e ndryshme të frontit të valës hyjnë në të në momente të ndryshme, prandaj fillojnë të përhapen me shpejtësi të ndryshme. Pikërisht ky ndryshim i shpejtësisë shkakton ndryshimin e drejtimin të përhapjes së valës, përkatësisht dukurinë e quajtur përthyerje e valëve.

Gjatë përthyerjes së valëve vlejnë rregullat e mëposhtme:

- Vala rënëse, normalja e sipërfaqes ndarëse dhe vala e përthyer ndodhen në të njëjtin rrafsh.

Raporti i sinusit të këndit rënës me sinusin e këndit të përthyer është i barabartë me raportin e shpejtësive:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

Kjo shprehje paraqet formulën matematikore të ligjit të përthyerjes së valëve



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Duke u nisur nga parimi i Hajgens–Frenelit, fitoni ligjin e përthyerjes së valëve.

Zgjidhje: Në figurën 6 është paraqitur përthyerja e një vale të rrafshët gjatë kalimit nga njëri mjedis në tjetrin, në të cilët vala përhapet me shpejtësi të ndryshme v_1 dhe v_2 . Fronti i valës rënëse paraqitet me segmentin AC, i cili është pingul me rrezet rënëse. Vala bie nën një kënd të caktuar mbi sipërfaqen ndarëse, prandaj pjesët e ndryshme të frontit të saj arrijnë në këtë sipërfaqe në momente të ndryshme. Rrezja e parë e prek sipërfaqen ndarëse në pikën A, ndërsa rrezja tjetër, në të njëjtin moment, ndodhet në pikën C dhe vazhdon të lëvizë drejt pikës B.



Figura 6. Shpjegimi i dukurisë së përthyerjes së valëve me anë të parimit të Hajgens–Frenelit

Gjatë kohës t , ndërsa rrezja nga pika C përshkon largësinë CB në mjedisin e parë me shpejtësi v_1 , pika A bëhet burim i një vale sekondare. Kjo valë përhapet në mjedisin e dytë me shpejtësi v_2 dhe përshkon largësinë AD. Meqenëse shpejtësitë e përhapjes së valës në të dy mjediset janë të ndryshme, për të njëjtën kohë vlen $\overline{CB} \neq \overline{AD}$.

Fronti i ri i valës fitohet si vija e përbashkët që prek valët sekondare dhe shënohet me BD. Ai paraqet frontin e valës së përthyer.

Nga gjeometria e figurës dallohen dy trekëndësha kënddrejtë, ABC dhe BAD, të cilët kanë hipotenuzën e përbashkët AB. Për ta vlen:

$$\sin \alpha = \frac{\overline{BC}}{\overline{AB}}, \quad \sin \beta = \frac{\overline{AD}}{\overline{AB}}.$$

meqenëse $\overline{BC} = v_1 t$ dhe $\overline{AD} = v_2 t$, me pjesëtimin e të dy shprehjeve: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$, që paraqet Ligjin për përthyerje të valëve.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Në ujë më të thellë, një valë ujore ka gjatësi valore 2,4 m dhe shpejtësi 1,2 m/s. Vala kalon në ujë të cekët, ku shpejtësia e saj është 0,75 m/s. Këndi i rënies është 30° .

a) Përcaktoni frekuencën e valës b) Përcaktoni gjatësinë valore të valës në ujin e cekët. c) Përcaktoni këndin e përthyerjes.

Të dhënat: $\lambda = 2,4 \text{ m}$, $v_1 = 1,2 \text{ m/s}$ (uji më i thellë),
 $v_2 = 0,75 \text{ m/s}$ (uji i cekët), $\alpha = 30^\circ$

Kërkohet: a) b) $\lambda_2 = ?$ c) $\beta = ?$

Zgjidhje:

a) Frekuenca e valës është $v = f \lambda \Rightarrow f = \frac{v_1}{\lambda_1} = 0,5 \text{ Hz}$.

b) Frekuenca nuk ndryshon gjatë kalimit, prandaj gjatësia valore në ujë të cekët është

$$\lambda_2 = \frac{v_2}{f} = 1,5 \text{ m}.$$

c) Për përthyerjen e valëve vlen:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} \Rightarrow \sin \beta = \sin \alpha \cdot \frac{v_2}{v_1} \Rightarrow \beta = \arcsin(0,3125) \approx 18,2^\circ.$$

Indeksi absolut dhe relativ i përthyerjes

Për studimin e dukurisë së përthyerjes së valëve është e dobishme të përkufizohen nocionet indeks absolut i përthyerjes dhe indeks relativ i përthyerjes, të cilat mundësojnë krahasimin e shpejtësisë së valës në mjedise të ndryshme.

Indeksi absolut i përthyerjes së një mjedisi përkufizohet si raporti ndërmjet shpejtësisë së valës në një mjedis referues dhe shpejtësisë së saj në mjedisin e dhënë. Te valët mekanike, si valët ujore ose valët e zërit, si mjedis referues zakonisht merret mjedisi në të cilin vala përhapet me shpejtësinë më të madhe. Indeksi absolut i përthyerjes jepet me shprehjen:

$$n = \frac{v}{v_0},$$

ku v_0 është shpejtësia e valës në mjedisin referues, ndërsa v është shpejtësia e valës në mjedisin e shqyrtuar.

Në situata praktike, te valët mekanike përdoret më shpesh indeksi relativ i përthyerjes, i cili krahason përhapjen e valës në dy mjedise të caktuara. Indeksi relativ i përthyerjes së mjedisit 2 në raport me mjedisin 1 përkufizohet si raporti i shpejtësive të valës në këto mjedise:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Nëse vala kalon nga një mjedis ku përhapet me shpejtësi më të madhe në një mjedis ku përhapet me shpejtësi më të vogël ($v_2 < v_1$), indeksi relativ i përthyerjes është më i madh se 1 dhe vala përthyeret drejt normales. Nëse vala kalon nga një mjedis me shpejtësi më të vogël përhapjeje në një mjedis ku shpejtësia e saj është më e madhe, ajo përthyeret duke u larguar nga normalja. Duke përdorur indeksin relativ të përthyerjes, ligji i përthyerjes së valëve gjatë kalimit nga njëri mjedis në tjetrin mund të shkruhet edhe me formulën:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{21},$$

gjë që tregon qartë se përthyerja e valëve është pasojë e drejtpërdrejtë e ndryshimit të shpejtësisë së përhapjes së tyre në mjedise të ndryshme.



MËSO MË SHUMË

Valët e cunamit janë valë të gjata ujore që krijohen si pasojë e zhvendosjeve të papritura vertikale të masave të mëdha ujore, të shkaktuara më së shpeshti nga tërmetet nënujore, shpërthimet vullkanike ose rrëshqitjet e dheut në fundin e detit. Ndryshe nga valët e zakonshme detare, të cilat krijohen nën veprimin e erës dhe kufizohen në shtresën sipërfaqësore, valët e cunamit përfshijnë të gjithë kolonën e ujit, nga fundi i detit deri në sipërfaqe.

Në ujëra të thella, valët e cunamit kanë gjatësi valore jashtëzakonisht të madhe dhe amplitudë shumë të vogël, prandaj zakonisht mbeten të pavërejtura. Ato përhapen me shpejtësi të madhe, e cila varet nga thellësia e ujit dhe mund të arrijë në qindra kilometra në orë. Për shkak të gjatësisë së tyre të madhe valore, valët e cunamit humbasin shumë pak energji gjatë përhapjes dhe mund të përshkojnë largësi të mëdha.

Gjatë afrimit me bregun dhe kalimit në ujë të cekët, shpejtësia e valës së cunamit zvogëlohet ndjeshëm. Meqenëse frekuenca e valës përcaktohet nga burimi dhe nuk ndryshon gjatë kalimit nga njëri mjedis në tjetrin, zvogëlimi i shpejtësisë shkakton zvogëlimin e gjatësisë valore. Në të njëjtën kohë, energjia e përgjithshme e valës ruhet përafërsisht dhe shpërndahet në një hapësirë më të vogël, gjë që shkakton rritjen e menjëhershme të amplitudës (figura 7).

Për këtë arsye, valët e cunamit përbëjnë një nga dukuritë natyrore më shkatërruese në zonat bregdetare, edhe pse në det të thellë prania e tyre është pothuajse e pavërejtshme.

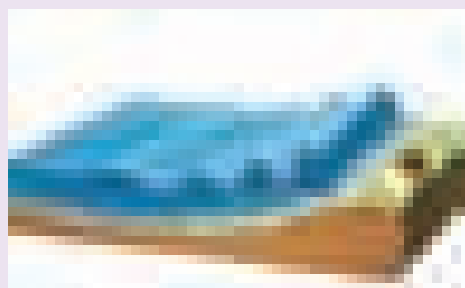
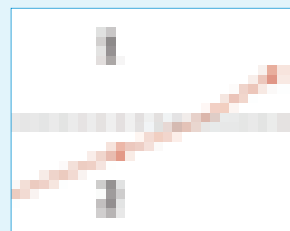


Figura 7. Ndryshimi i gjatësisë valore dhe i amplitudës së valëve të cunamit



PYETJE DHE DETYRA

1. Çfarë do të ndodhte me drejtimin e përhapjes së valës nëse shpejtësia e saj në mjedisin e dytë do të ishte e njëjtë si në mjedisin e parë? A do të ndodhte përthyerja?
2. Pse frekuenca e valës nuk ndryshon gjatë kalimit nga njëri mjedis në tjetrin, ndërsa gjatësia valore dhe shpejtësia e saj ndryshojnë?
3. Nga cilët faktorë varet shpejtësia e valëve dhe si ndikon secili prej tyre?
4. Në figurën djathtas është paraqitur lëvizja e një vale. Në cilin mjedis vala përhapet me shpejtësi më të madhe? Shpjegoni.
5. Në njërin skaj të një shufre çeliku me gjatësi 400 m krijohet një sinjal zanor nëpërmjet goditjes me çekiç. Moduli i elasticitetit të Jungut për çelikun është $2,0 \cdot 10^{11}$ Pa, ndërsa dendësia e tij është 7800 kg/m^3 . Shpejtësia e zërit në ajër është 340 m/s. Përcaktoni shpejtësinë e zërit përgjatë shufrës së çelikut. Nëpër cilin mjedis zëri do të arrijë më shpejt dhe sa do të jetë diferenca kohore? (Zgjidhje: çelik 1,1 s)
6. Një valë zanore me gjatësi valore 85 cm përhapet nëpër ajër dhe kalon në ujin e detit.
 - a) Përcaktoni gjatësinë valore të zërit në ujë.
 - b) Nëse vala bie mbi sipërfaqen e ujit nën kënd 3° , sa është këndi i përthyerjes? Për shpejtësinë e zërit përdorni vlerat: në ajër: 340 m/s, ndërsa në ujë 1480 m/s. (Zgjidhje: $3,7^\circ$; $13,2^\circ$)



2.6. Zëri dhe karakteristikat e tij

Në jetën e përditshme jemi vazhdimisht të ekspozuar ndaj tingujve të ndryshëm: bisedat me miqtë, muzika që dëgjojmë, zhurma e trafikut ose goditjet e papritura dhe të fuqishme. Zëri i njeriut krijohet nga dridhja e kordave zanore me frekuenca që shtrihen nga disa dhjetëra deri në disa mijëra herc. Altoparlanti prodhon tingull nëpërmjet lëkundjeve të membranës, e cila vë në lëvizje grimcat e ajrit. Zhurma e trafikut krijohet nga lëkundjet e pjesëve të ndryshme të automjeteve dhe përmban njëkohësisht shumë frekuenca të ndryshme.

Çdo zë krijohet si rezultat i lëkundjeve të një trupi, i cili quhet burim i zërit. Lëkundjet e burimit u barten grimcave të mjedisit elastik përreth dhe krijojnë një valë mekanike. Që vala e krijuar të perceptohet si zë nga veshi i njeriut, frekuenca e lëkundjeve të burimit duhet të jetë në intervalin nga 20 Hz deri në 20 kHz. Lëkundjet e shkaktuara nga një burim me frekuencë më të vogël se 20 Hz krijojnë **infratinguj**, ndërsa ato me frekuencë më të madhe se 20 kHz krijojnë **ultratinguj**. Këta tinguj nuk janë të dëgjueshëm për veshin e njeriut.

Zëri është një valë mekanike longitudinale që përhapet nëpër një mjedis material (gaz, lëng ose trup të ngurtë) dhe mund të perceptohet nga veshi i njeriut. Meqenëse zëri është valë mekanike, ai nuk mund të përhapet në vakum. Gjatë përhapjes së valës së zërit, grimcat e mjedisit lëkundet rreth pozitive të tyre të ekuilibrit. Në këtë proces bartet energji, por materia nuk zhvendoset së bashku me valën.

Si dëgjojmë?

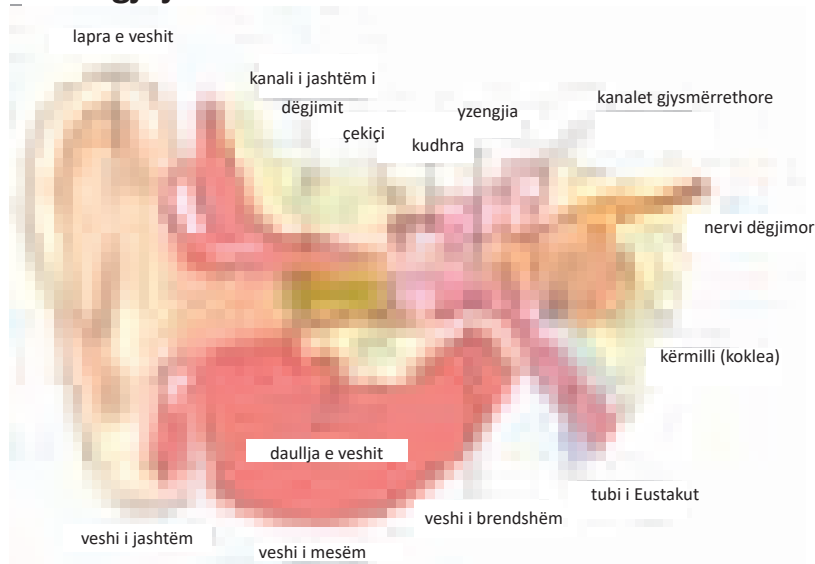


Figura 1. Prerja tërthore e veshit dhe pjesët përbërëse të tij.

vogla: çekiqin, kudhrën dhe yzengjinë. Këto kocka veprojnë si një sistem levash, duke e përforcuar lëkundjen mekanike dhe duke e përcjellë atë më tej drejt veshit të brendshëm.

Lëkundjet e përforcuara arrijnë në kërmillin e veshit e cila ndodhet në veshin e brendshëm dhe është e mbushur me lëng. Në këtë pjesë ndodhet membrana bazilare, mbi të cilën ka një numër të madh fijesh elastike me gjatësi të ndryshme, nga rreth 0,04 mm në hyrje deri në afërsisht 0,5 mm në skajin e saj. Për shkak të gjatësisë dhe elasticitetit të ndryshëm, çdo fije ka frekuencën e vet të lëkundjes. Kur vala zanore shkakton lëkundjen e lëngut brenda kërmillit të veshit, lëkundjet përvetësohen vetëm nga ato fije, frekuenca vetjake e të cilave është e barabartë me frekuencën e zërit. Në këtë mënyrë, frekuencat e ndryshme zbulohen në vende të ndryshme përgjatë membranës bazilare.

Secila prej këtyre fijëve është në kontakt me mbaresat e nervit dëgjimor. Kur fijet e imëta fillojnë të dridhen, ato i ngacmojnë mbaresat nervore, duke krijuar impulse elektrike. Këto impulse përcillen nëpërmjet nervit dëgjimor deri te qendra e dëgjimit në koren e trurit, ku përpunohen dhe krijojnë ndjesinë e zërit.

Tonet

Tonet mund të jenë të pastra ose të përbëra. **Toni i pastër**, ose thjesht toni, është zëri që prodhohet nga një burim që kryen lëkundje harmonike, siç është, për shembull, piruni akustik (figura 2). Karakteristika themelore e toneve të pastra është se ato kanë vetëm një frekuencë..

Toni i pastër përshkruhet me funksion sinus (ose kosinus):

$$y = A \sin(\omega t + kx).$$



Figura 2. Piruni akustik. Pajisje që, kur goditet, fillon të lëkundet dhe prodhon një ton të pastër me frekuencë të përcaktuar saktë. Përdoret më shpesh për akordinin e instrumenteve muzikore dhe për demonstrime në akustikë.

Në figurën 3a është paraqitur grafiku i këtij funksioni në një moment të caktuar. Zërat që prodhojnë instrumentet muzikore janë tone të përbëra. Toni i përbërë përftohet si rezultat i mbledhjes së disa toneve të pastra me frekuenca të ndryshme, përkatësisht është shuma e disa funksioneve sinus:

$$y = \sum_{n=1}^N A_n \sin(\omega_n t + k_n x)$$

ku A_n shënon amplitudën e tonit të n -të të pastër, ω_n është frekuenca rrethore e tij ndërsa k_n është numri valor i tonit të n -të të pastër.

Toni i përbërë (figura 4a) mund të zbërthehet në tone të pastra. Frekuenca më e vogël f_1 që fitohet gjatë këtij zbërthimi, i përgjigjet tonit themelor, ndërsa tonet e tjera kanë frekuenca më të mëdha. Ato quhen tone harmonike të larta, përkatësisht obertone. Frekuencat e toneve harmonike të larta janë shumëfisha të plotë të frekuencës së tonit themelor:

$$f = nf \quad (n = 2, 3, 4, \dots)$$

Shpërndarja e frekuencave dhe e amplitudave përkatëse, prej të cilave përbëhet një ton, quhet **spektri i tonit**. Në figurat 3b dhe 4b janë paraqitur spektrat e një toni të pastër dhe të një toni të përbërë.

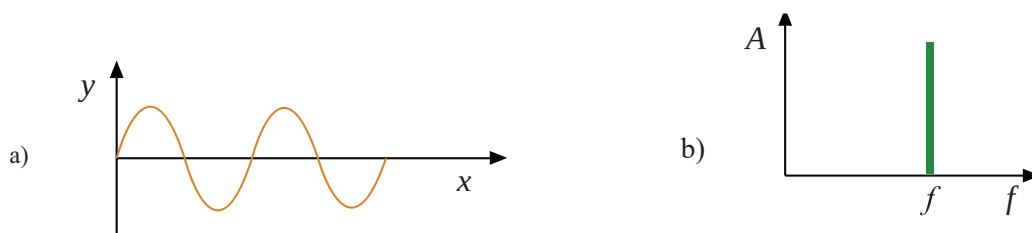


Figura 3. a) Paraqitja grafike e një toni të pastër; b) spektri i një toni të pastër.

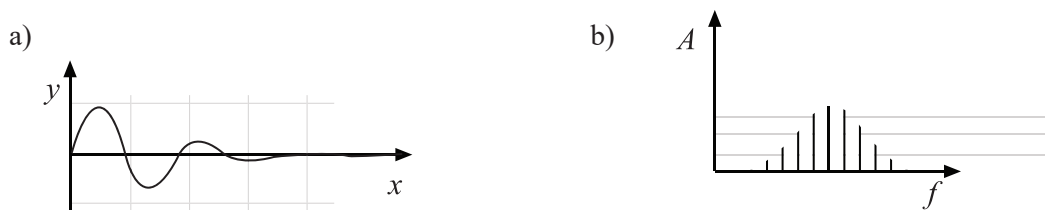


Figura 4. a) Paraqitja grafike e një toni të përbërë; b) spektri i një toni të përbërë.



AKTIVITETI 1.

Toni i pastër dhe toni i përbërë– Superpozicioni i harmonikëve

Materialet e nevojshme:

- Kompjuter, tablet ose telefon inteligjent.

Simulimi PhET Analiza e Fourier-it: Krijimi i valëve (Fourier: Making Waves), i cili mund të gjendet në faqen e mëposhtme të internetit:: : <https://phet.colorado.edu/mk/simulation/fourier-making-waves>

Pjesa 1: Toni i pastër

1. Hapni simulimin dhe zgjidhni regjimin (Discrete).

Aktivizoni vetëm një harmonik (harmonikun bazë), ashtu që vetëm vlera e amplitudës së parë të jetë

$A_1 = 1$, ndërsa të gjitha të tjerat të jenë zero.



2. Vëzhgoni formën e sinjalit. Vini re se të dy grafikët, e shënuar me (Harmonics) dhe (Sum), janë të njëjtë.

Pjesa 2: Toni i përbërë

1. Gradualisht shtohet harmonikun e dytë, të tretë dhe të katërt, duke rritur vlerat e amplitudave $A_2, A_3, A_4, \dots$
2. Ndihni ndryshimin e sinjalit dhe të zërit
3. Vini re se megjithëse forma e sinjalit ndryshon, perioda mbetet e njëjtë.

Pyetje:

- A është perioda e tonit të përbërë e njëjtë si të tonit të pastër? Shpjegoni pse
- Cila frekuencë e përcakton lartësinë e zërit?
- Pse toni i përbërë nuk është sinusoidal?
- Çfarë ndryshon të zëri kur shtohen harmonikët më të lartë, dhe çfarë mbetet e njëjtë?
- Si mendoni, përse instrumentet e ndryshme tingëllojnë ndryshe?

Toni karakterizohet nga lartësia dhe ngjyra. Lartësia e tonit përcaktohet nga frekuenca themelore f_1 . ndërsa ngjyra e tij përcaktohet nga harmonikët e lartë dhe amplitudat e tyre.

Falë ngjyrës së ndryshme të tonit, mund të dallojmë instrumentin muzikor ose personin që flet. Tonic me frekuencë themelore 440 Hz (nota «la»), i prodhuar nga violina dhe pianoja, ka të njëjtën lartësi, por ngjyrë të ndryshme, sepse spektrat e harmonikëve të tyre janë të ndryshëm (figura 5).

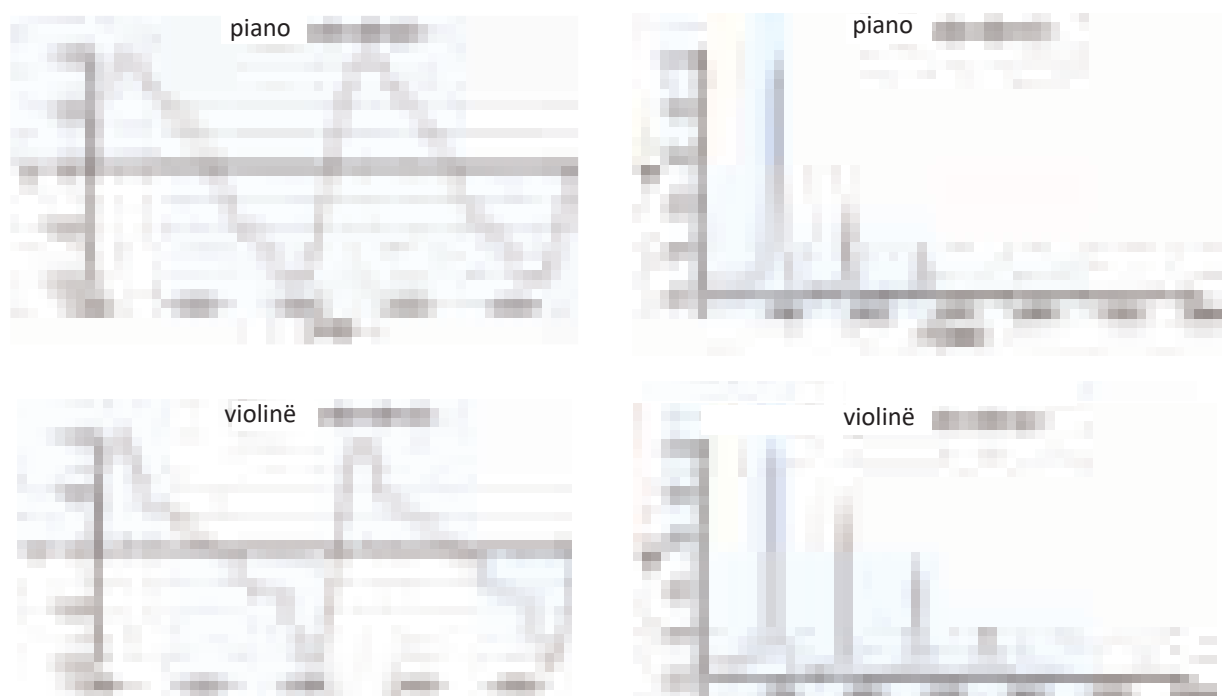


Figura 5. Toni A4 (440 Hz), i luajtur në piano (lart majtas) dhe në violinë (poshtë majtas), si dhe spektrat përkatës (lart dhe poshtë djathtas).

Zhurma, krisma dhe zhurma e dëmshme

Përveç toneve, të cilat përgjithësisht janë të këndshme për t'u dëgjuar, ekzistojnë edhe lloje të tjera zëri që mund të jenë të këndshme ose të pakëndshme. Zhurma krijohet nga shumë lëkundje të ndërlikuara dhe joperiodike, me amplituda dhe frekuenca të ndryshme. Ajo nuk mund të zbërthehet në lëkundje të thjeshta

harmonike me frekuenca të përcaktuara saktë. Krisma është një zhurmë e fortë, e papritur dhe me kohëzgjatje të shkurtër. Zhurma e padëshiruar është përzierje e një numri të madh zhurmash të ndryshme, zakonisht me intensitet të lartë, të cilat janë të pakëndshme ose të dëmshme për njeriun.

Intensiteti i zërit

Vala e zërit bart energji. Intensiteti i zërit është energjia që vala bart për njësi kohe nëpër njësi sipërfaqeje të vendosur pingul me drejtimin e përhapjes së saj. Meqenëse fuqia përkufizohet si energjia e bartur për njësi kohe, intensiteti i valës së zërit mund të shënohet si

$$I = \frac{P}{S}.$$

ku P është fuqia e burimit të zërit ndërsa S është sipërfaqja nëpër të cilën bartet energjia. Njësia e intensitetit

të valës është: $\frac{J}{m^2s} = \frac{W}{m^2}.$

Burime të ndryshme të zërit krijojnë zëra me intensitete të ndryshme. Për shembull, një bisedë e qetë karakterizohet nga intensiteti i vogël, trafiku krijon zë me intensitet mesatar, ndërsa një aeroplan reaktiv gjatë ngritjes është burim zëri me intensitet shumë të madh, i cili mund të shkaktojë dhimbje në veshë.

Intensiteti më i vogël i zërit që mund të regjistrohet nga veshi i njeriut është: $I_{\min} = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ dhe quhet **pragu i dëgjimit**. Intensiteti. $I_{\max} = 1 \frac{W}{m^2}$ është intensiteti më i madh i zërit që mund të regjistrohet nga veshi i njeriut dhe quhet **pragu i dhimbjes**.

Zëshmëria dhe niveli i zërit

Ndryshe nga intensiteti i zërit, i cili është madhësi fizike objektive, zëshmëria është madhësi subjektive, sepse varet nga mënyra se si veshi i njeriut e percepton zërin. Ajo nuk varet vetëm nga intensiteti, por edhe nga frekuenca e zërit dhe nga ndjeshmëria e shqisës së dëgjimit. Veshi i njeriut nuk e percepton në mënyrë lineare ndryshimin e intensitetit të zërit. Nëse intensiteti rritet disa herë, ndjesia e zëshmërisë nuk rritet po aq herë. Në mënyrë eksperimentale është vërtetuar se perceptimi i zërit rritet në mënyrë afërsisht logaritmike me intensitetin. Prandaj, që një zë të perceptohet afërsisht dy herë më i fortë, intensiteti i tij duhet të rritet rreth 10 herë.

Për shkak të kësaj vetie të dëgjimit, në akustikë përdoret madhësia fizike niveli i intensitetit të zërit, e shënuar me L . Ajo përcaktohet në raport me prapun e dëgjimit dhe llogaritet me barazimin:

$$L = \log_{10} \frac{I}{I_{\min}}.$$

Niveli i intensitetit të zërit shprehet në belë (B), ndërsa në praktike më shpesh përdoren decibelët (dB), ku vlen $1 B = 10 \text{ dB}$. Në decibelë, barazimi për nivelin e intensitetit të zërit shënohet në formën:

$$L = 10 \cdot \log_{10} \frac{I}{I_{\min}}.$$

Disa vlera të nivelit të intensitetit të zërit janë dhënë në tabelën 1.

Zëri / mjedisi	Niveli i intensitetit të zërit L (dB)	Intensiteti I (W/m^2)
Pragu i dëgjimit	0	10^{-12}
Dhomë e qetë	≈ 30	10^{-9}
Bisedë normale	≈ 60	10^{-6}
Koncert roku	≈ 110	10^{-1}
Dhimbje në vesh	≥ 120	≥ 1



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Pragu i dëgjimit është 0 dB, ndërsa pragu i dhimbjes është 120 dB. Sa herë është intensiteti i zërit në pragu e dhimbjes më i madh se intensiteti në pragu e dëgjimit?

Të dhënat: $L_{\min} = 0 \text{ dB}$, $L_{\max} = 120 \text{ dB}$

Kërkohet: $\frac{I_{\max}}{I_{\min}} - ?$

Zgjidhje: Për dy zëra, ndryshimi ndërmjet niveleve të tyre është: $L_2 - L_1 = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$, Për dy zëra, ndryshimi ndërmjet niveleve të tyre është:

$$120 = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I_{\max}}{I_{\min}} \right). \text{ Duke shprehur raportin e intensiteteve, fitojmë: } \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = 10^{12}.$$

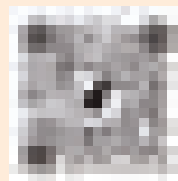
Intensiteti i zërit në pragu e dhimbjes është 10^{12} herë më i madh se intensiteti në pragu e dëgjimit. Ky rezultat tregon se sa i madh është diapazoni dinamik i dëgjimit të njeriut dhe pse niveli i zërit shprehet me shkallë logaritmike.



AKTIVITETI 2.

Me ndihmën e simulimit PhET Valët zanore (Sound Waves), i cili gjendet në faqen e mëposhtme të internetit:

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/sound-waves/about>, shqyrtoni vetitë e valëve zanore. Krahasoni rezultatet e fituara me vetitë e përgjithshme të valëve që keni mësuar më parë: gjatësinë valore, frekuencën, shpejtësinë e përhapjes dhe amplitudën.



Jehona

Ashtu si valët e tjera mekanike, edhe zëri mund të pasqyrohet nga sipërfaqet. Kur një valë e zërit ndesh një pengesë të largët, si shkëmb, mur ose ndërtesë, ajo pasqyrohet dhe mund të arrijë përsëri te dëgjuesi. Jehona është dukuria gjatë së cilës vala e zërit e pasqyruar arrin përsëri te dëgjuesi pas një intervali të caktuar kohor dhe dëgjohej si përsëritje e zërit fillestar. Meqenëse zëri përhapet me shpejtësi të kufizuar, nga intervali kohor ndërmjet zërit fillestar dhe jehonës mund të përcaktohet largësia deri te pengesa nga e cila është pasqyruar zëri. Që jehona të dëgjohej si një zë i veçuar qartë, zëri i pasqyruar duhet të arrijë të paktën rreth 0,10 s pas emetimit të zërit fillestar. Nëse intervali kohor është më i shkurtër, zëri i pasqyruar bashkohet me zërin fillestar dhe perceptohet si vazhdim i tij. Gjithashtu, jehona shpesh nuk dëgjohej, sepse zëri i pasqyruar dobësohet për shkak të përthithjes nga objektet dhe sipërfaqet përreth.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Një nxënës qëndron në largësi x nga një shkëmb vertikal. Ai përplas duart dhe mat se jehona dëgjohej 0,84 s pas çastit të përplasjes. Llogarit largësinë ndërmjet nxënësit dhe shkëmbit. Shpejtësia e zërit në ajër është 340 m/s. A do të dëgjohej jehona si një zë i veçuar qartë në këtë rast?

Të dhënat: $t = 0,84 \text{ s}$, $v = 340 \text{ m/s}$

Kërkohet: $x - ?$

Zgjidhje:

Jehona kthehet te nxënësi pasi zëri përshkon largësinë deri te shkëmbi dhe kthehet përsëri. Prandaj, rruga

e përgjithshme është $s = 2x$. Nga përkufizimi i shpejtësisë $s = vt$, rruga e përshkruar nga vala e zërit është $2x = vt = 340 \cdot 0,84 = 285,6 \text{ m}$. Pra, shkëmbi ndodhet larg nxënësit $x = 142,8 \text{ m}$.

Që jehona të dëgjohej si një zë i veçuar qartë, zëri i pasqyruar duhet të arrijë të paktën $0,10 \text{ s}$ më vonë. Meqenëse në këtë rast koha është $0,84 \text{ s}$, jehona do të dëgjohej si një zë i veçuar qartë.

Infratingulli, ultratingulli dhe zbatimet e tyre

Infratinguj quhen valët e zërit me frekuencë më të vogël se 20 Hz , të cilat nuk mund të perceptohen nga veshi i njeriut, por kanë zbatime të rëndësishme në shkencë dhe në teknikë. Infratingujt krijohen gjatë dukurive natyrore, si tërmetet, shpërthimet vullkanike, valët e fuqishme detare dhe shpërthimet. Për shkak të frekuencës së ulët dhe gjatësisë së madhe valore, valët infrasonike mund të përhapen në largësi shumë të mëdha me dobësim relativisht të vogël të intensitetit. Prandaj, ato përdoren për zbulimin dhe monitorimin e hershëm të tërmeteve dhe të aktivitetit vullkanik, si dhe për studimin e dukurive atmosferike dhe oqeanike. Infratingujt prodhojnë edhe disa kafshë, për shembull elefantët, të cilët i përdorin për komunikim në largësi të mëdha.

Ultratinguj quhen valët e zërit me frekuencë më të madhe se 20 kHz . Për shkak të frekuencës së lartë, valët ultrasonike kanë gjatësi valore të vogël, gjë që mundëson kahëzimin e tyre të saktë dhe pasqyrimin e qartë nga objektet e vogla dhe nga sipërfaqet ndarëse ndërmjet mjediseve të ndryshme. Zbatimi më i njohur i ultratingujve është në diagnostikën mjekësore, ku përdoren për ekzaminimin joinvaziv të organeve të brendshme. Ekzaminimi me ultratinguj, i quajtur ekografi, bazohet në pasqyrimin e valëve ultrasonike nga indet dhe organet e trupit. Valët e pasqyruara (jehona) regjistrohen dhe nëpërmjet përpunimit kompjuterik krijohet pamja e strukturave të brendshme. Ultratingujt përdoren për të ndjekur zhvillimin e fetusit dhe për të vlerësuar rrjedhjen e gjakut në enët e gjakut (figura 6).

Në teknikë, ultratingujt përdoren në sistemet sonare, në të cilat zbatohet gjithashtu parimi i pasqyrimin të valëve zanore për matjen e thellësisë dhe zbulimin e objekteve nën ujë. Përveç kësaj, në industri ultratingujt përdoren për pastrimin e pjesëve të imëta dhe të vështira për t'u arritur, si dhe për zbulimin e çarjeve dhe të defekteve në konstruksionet metalike.



Figura 6. Ekzaminimi me ultratinguj gjatë shtatzënisë



MËSO MË SHUMË

Niveli i zëshmërisë në fonë

Niveli i zëshmërisë së perceptuar nuk varet vetëm nga intensiteti i zërit, por edhe nga frekuenca e tij. Veshi i njeriut nuk është njësoj i ndjeshëm ndaj të gjitha frekuencave. Kjo varësi paraqitet në figurën 7 me lakoret e zëshmërisë së barabartë (lakoret e Veber–Fehnerit). Secila lakore lidh të gjithë zërat që njeriu i percepton me të njëjtin nivel zëshmërie, megjithëse kanë frekuenca dhe intensitete të ndryshme.

Fonët tregojnë nivelin e zëshmërisë me të cilin njeriu e percepton një zë. Numri i fonëve përcaktohet duke e krahasuar zërin me një ton referues me frekuencë 1 kHz . Vlera numerike në fonë është e barabartë me nivelin e këtij toni referues, të shprehur në decibelë. Për shembull:

- Një ton me frekuencë 1000 Hz dhe nivel zëri 40 dB ka nivel zëshmërie 40 fonë (ph).

- Një zë me frekuencë më të ulët, për shembull 100 Hz, duhet të ketë nivel më të lartë të zërit (rreth 50 dB), që të perceptohet po aq i fortë, përkatësisht me nivel zëshmërie 40 fonë.

Kjo tregon se veshi i njeriut është më pak i ndjeshëm ndaj frekuencave të ulëta. Prandaj, që këta zëra të dëgjohen po aq të fortë sa zërat me frekuencë të mesme, nevojitet intensitet më i madh.

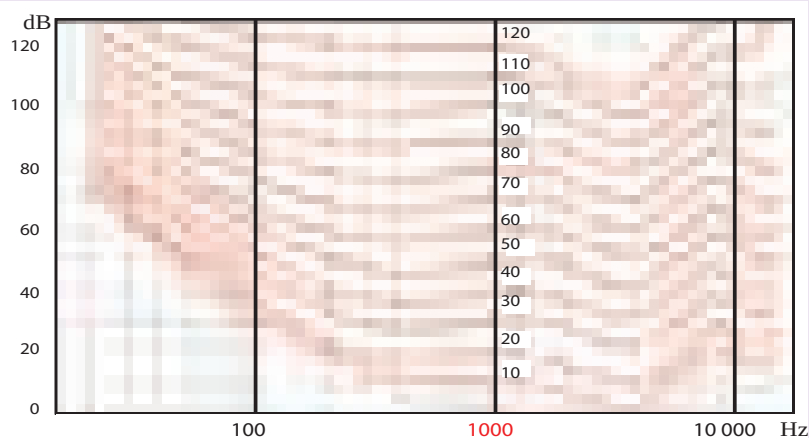


Figura 7. Lakoret e zëshmërisë së barabartë



SHENBULL I ZGJIDHUR 3.

Një zë me frekuencë 1 kHz dhe nivel të intensitetit prej 40 dB ka nivel zëshmërie prej 40 fonësh (ph). Nga grafiku i lakoreve të zëshmërisë së barabartë shihet se një zë me frekuencë 100 Hz dhe nivel të intensitetit prej 50 dB ka të njëjtin nivel zëshmërie në fonë si zëri i mëparshëm. Sa herë është intensiteti i zërit të dytë, më i madh se intensiteti i zërit të parë?

Të dhënat: $L_1 = 40 \text{ dB}$ (1 kHz), $L_2 = 50 \text{ dB}$ (100 Hz)

Kërkohet: $\frac{I_2}{I_1} - ?$

Zgjidhje:

Relacioni ndërmjet nivelit të zërit (në dB) dhe intensitetit të tij është: $\Delta L = 10 \cdot \log \frac{I_2}{I_1}$.

Diferenca e niveleve të zërit është $\Delta L = 50 - 40 = 10 \text{ dB}$, prandaj:

$$10 = 10 \cdot \log \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \log \frac{I_2}{I_1} = 1 \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10.$$

Intensiteti i zërit me frekuencë 100 Hz është 10 herë më i madh se ai i zërit me frekuencë 1 kHz që të dy zërat të perceptohen me të njëjtin nivel zëshmërie.



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse zëri mund të jetë vetëm valë longitudinale?
2. Si ndikon ndryshimi i mjedisit (ajër, ujë) në shpejtësinë, gjatësinë valore dhe frekuencën e zërit?
3. Pse rritja e amplitudës së lëkundjeve ndryshon fortësinë e zërit, por jo lartësinë e tij?
4. Ekolokacioni te lakuriqët e natës bazohet në emetimin dhe marrjen e valëve ultrasonike. Valët zanore të pasqyruara i mundësojnë lakuriqit të natës të përcaktojë pozitën, madhësinë dhe formën e insekteve ndërsa fluturon natën. Një lakuriq nate përdor ekolokacionin për të zbuluar një insekt me përmasë 5 mm. Ai mund të emetojë valë ultrasonike me frekuencë nga 10 kHz deri në 80 kHz (disa lloje lakuriqësh nate mund të emetojnë edhe deri në 200 kHz). Shpejtësia e zërit në ajër është: 340 m/s.

- a) Llogaritni gjatësinë valore të valës zanore për të dyja frekuencat.
- b) Shpjegoni se cila frekuencë është më e përshtatshme për ekolokacion dhe pse (krahasojeni me përmasën 5 mm). (Zgjidhja: 3,4 cm; 4,25 mm)
5. Një altoparlant prodhon zë me fuqi 0,15 W. Zëri përhapet njëtrajtshëm në të gjitha drejtimet, prandaj valët e zërit mund të konsiderohen sferike.
- a) Llogaritni intensitetin e zërit në largësinë 2,5 m nga burimi.
- b) Shpjegoni se si ndryshon intensiteti me rritjen e largësisë nga burimi..
- (Zgjidhja: a) $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$ b) $I \sim \frac{1}{r^2}$)
6. Në një kafe-bar, niveli i zërit gjatë pasdites, kur ka pak klientë dhe muzika është e qetë, është 55 dB. Në mbrëmje, kur lokali është plot dhe muzika është dukshëm më e fortë, niveli i zërit rritet në 85 dB. Llogaritni sa herë më i madh është intensiteti i zërit në mbrëmje krahasuar me pasditen. Zgjidhja: 1000 herë)

2.7. Superpozicioni i valëve. Valët e qëndrueshme

Impulsi valor është një valë që krijohet kur dora që mban skajin e një litari të tendosur lëviz një herë, shkurtimisht, lart e poshtë. Kur një impuls i tillë, që përhapet përgjatë litarit, arrin në kufirin ku litari është i fiksuar në një mur të palëvizshëm, ai pasqyrohet (reflektohet) dhe përhapet përsëri përgjatë litarit në kahjen e kundërt. Në momentin kur impulsi valor arrin te muri, litari vepron mbi murin me një forcë të drejtuar vertikalisht lart. Njëkohësisht, muri vepron mbi skajin e litarit me një forcë të barabartë për nga madhësia, por me kahje të kundërt, në përputhje me ligjin e tretë të Njutonit. Kjo forcë ndryshon kahjen e deformimit (elongacionit), duke shkaktuar ndryshim të fazës së valës për π (figura 1a).

Nëse skaji i litarit nuk është i fiksuar, por mund të lëvizë lirshëm, për shembull, nëse është lidhur me një unazë që rrëshqet përgjatë një shtylle vertikale, kushtet kufitare janë krejtësisht të ndryshme. Kur impulsi valor arrin në skajin e lirë, ai pasqyrohet prapa, por faza e valës nuk ndryshon (figura 1b).

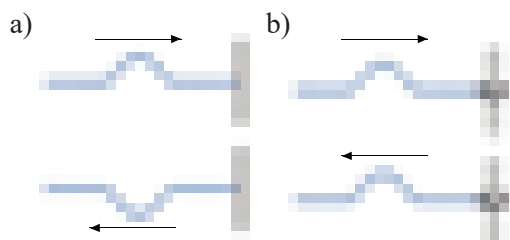


Figura 1. Pasqyrimi i impulsit valor nga: a) një mjedis i ngurtë; b) një skaj i lirë.

Mbivendosja e valëve (superpozicioni)

Në të njëjtin litar të tendosur le të krijojmë dy impulse valore nga skajet e kundërta, në mënyrë që ato të lëvizin drejt njëri-tjetrit. Për sa kohë që impulsjet janë të larguara secili prej tyre përhapet në mënyrë të pavarur dhe shkakton lëkundjen e grimcave të litarit. Kur impulsjet takohen dhe mbivendosen, deformimi i litarit bëhet më i madh ose më i vogël, në varësi të orientimit të impulseve valore.

Nëse të dy impulsjet kanë amplituda me shenjë të njëjtë, në vendin ku takohen krijohet një impuls, amplituda e të cilit është e barabartë me shumën e amplitudave të tyre (figura 2a). Nëse impulsjet kanë amplituda me shenja të kundërta, në vendin e takimit mund të krijohet një impuls, amplituda e të cilit është e barabartë me ndryshimin ndërmjet amplitudave të impulseve të veçanta (figura 2b). Nëse impulsjet kanë amplituda të barabarta, por me shenja të kundërta, impulsi rezultat do të ketë amplitudë zero. Pasi kalojnë nëpër pikën ku janë takuar, të dy impulsjet valore vazhdojnë të lëvizin të pandryshuara, sikur të mos ishin takuar.

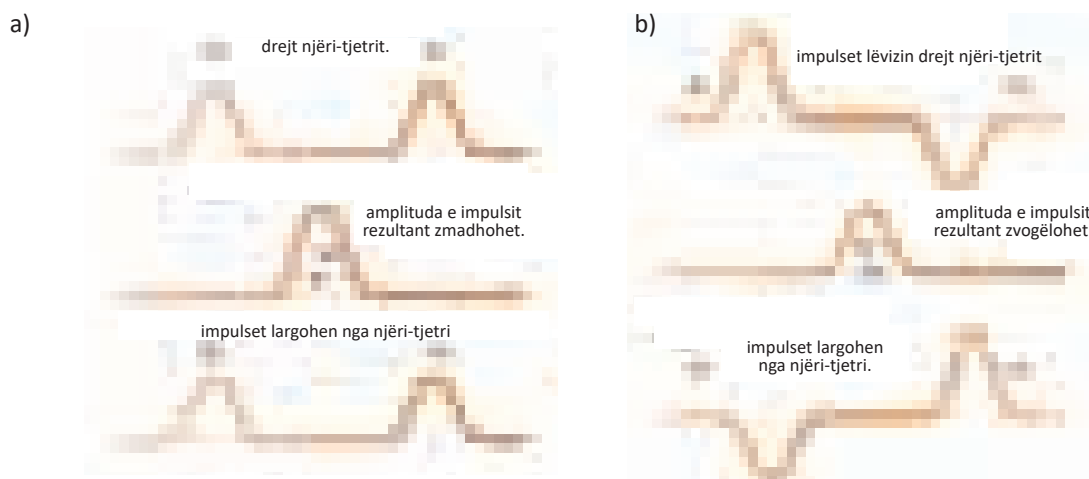


Figura 2. Mbivendosja e impulseve valore: a) me kahje të njëjtë; b) me kahje të kundërta.

Edhe pse deri tani kemi shqyrtuar se çfarë ndodh me impulset e veçanta, të njëjtat parime vlejnë edhe për valët harmonike. Kur dy ose më shumë valë harmonike përhapen njëkohësisht nëpër të njëjtin mjedis material, ato mund të mbivendosen. Bashkëveprimi i tyre shkakton rritjen ose zvogëlimin e amplitudës së lëkundjes së grimcave të mjedisit.

Veçanërisht i rëndësishëm është rasti kur nëpër të njëjtin mjedis përhapen njëkohësisht dy ose më shumë valë harmonike me frekuencë të njëjtë dhe me diferencë fazore konstante. Në këtë rast ndodh **interferenca e valëve**. Secila valë shkakton në mënyrë të pavarur lëkundjen e grimcave të mjedisit rreth pozitive të tyre të ekuilibrit. Kur dy ose më shumë valë arrijnë në të njëjtën pikë të mjedisit, në të njëjtin moment, grimcat në atë pikë ndodhen nën veprimin e njëkohshëm të të gjitha valëve. Në këtë rast vlen **parimi i superpozicionit të valëve**, sipas të cilit vala rezultante është e barabartë me shumën algjebrike të valëve të veçanta. E shkruar me formulë:

$$y = y_1 + y_2 + \dots + y_n$$

Nëse valët janë në **fazë**, amplituda e lëkundjes së grimcave të mjedisit zmadhohet. Kjo dukuri quhet **interferencë konstruktive** (figura 3a). Nëse valët janë në **kundërfazë**, amplituda e lëkundjes së grimcave zvogëlohet. Në rastin e veçantë kur mbivendosen dy valë me amplituda të barabarta dhe në kundërfazë, amplituda e lëkundjes së grimcave në zonën e mbivendosjes është zero, përkatësisht nuk ka lëkundje. Kjo dukuri quhet **interferencë destruktive** (figura 3b).

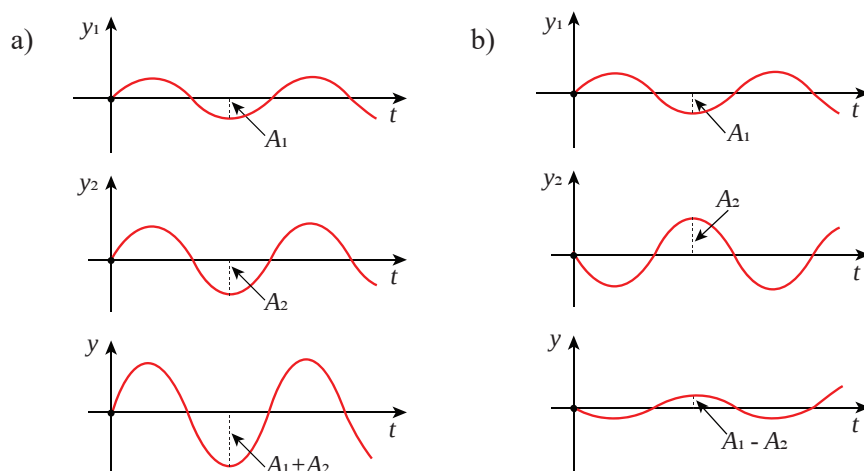


Figura 3. Mbivendosja (superpozicioni) e valëve me të njëjtën frekuencë kur: a) valët janë në fazë; b) valët janë në kundërfazë.

Ky parim vlen për valët mekanike dhe përbën bazën për krijimin e **valëve të qëndrueshme**.



AKTIVITETI 1.

Valët me sustë-lodër (slinky)

Pajisjet e nevojshme: susta-lodër (figura 4) dhe një stativ ku mund të fiksohen sustat. Nëse sustat janë metalike, eksperimenti mund të përsëritet për një interval më të gjerë frekuencash dhe zgjatjesh.

Pjesa 1: Impulsi valor (pulsi)

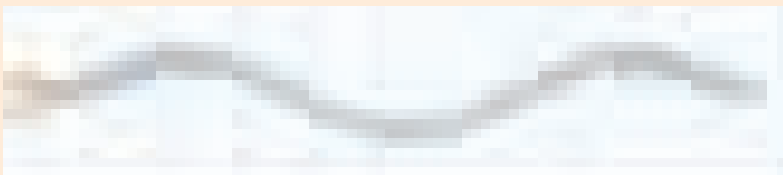
1. Vendoseni sustën në dysheme ose mbi një tavolinë të madhe pune.
2. Fiksojeni njërin skaj të sustës në stativ.
3. Mbajeni skajin tjetër me dorë dhe tendoseni lehtë sustën.
4. Me një lëvizje të shkurtër dhe të shpejtë të dorës majtas-djathtas, krijoni një impuls valor. Dora duhet të mbahet vazhdimisht në nivelin e tavolinës.
5. Vëzhgoni se si impulsi valor lëviz përgjatë sustës dhe çfarë ndodh kur arrin në skajin e fiksuar. Krijoni dy impulse shpejt, njërin pas tjetrit, dhe përpikuni të vëreni dukurinë e interferencës.

Pyetje për vëzhgim:

- Çfarë ndodh me impulsin valor? A lëviz apo mbetet në të njëjtin vend?
- Çfarë ndodh me impulsin valor kur pasqyrohet nga skaji?
- A udhëtojnë grimcat e sustës së bashku me impulsin?

Pjesa 2: Valët me frekuenca të ndryshme

1. Me lëvizje ritmike të dorës, krijoni lëkundje periodike me frekuencë konstante.
2. Vëzhgoni formën e valës që përhapet përgjatë sustës.
3. Vazhdoni me të njëjtën frekuencë dhe vëzhgoni nëse forma e valës ndryshon me kalimin e kohës.
4. Zmadhoni ose zvogëlioni frekuencën e lëvizjes së dorës, pa e ndryshuar ndjeshëm tendosjen e sustës.



Pyetje:

- Çfarë vafe krijohet kur lëvizja është periodike?
- A mbetet e njëjtë largësia ndërmjet ngjeshjeve ose spiraleve fqinje?
- Çfarë transmetohet përgjatë sustës: grimcat apo lëkundjet?
- Si ndryshon gjatësia valore kur rritet frekuenca?
- Çfarë mbetet e njëjtë dhe çfarë ndryshon kur ndryshon frekuenca?

Pjesa 3: Ndryshimi i tendosjes

1. Rriteni tendosjen e sustës. Për ta bërë këtë, në vend që ta kapni vetëm te spiralja e fundit, kapni njëkohësisht disa nga spiralet e fundit. Në këtë mënyrë, susta do të ketë të njëjtën gjatësi, por do të ndryshojë hapësira ndërmjet spiraleve.
2. Përsëriteni eksperimentin e pjesës 2 për frekuenca të ndryshme të lëvizjes së dorës.
3. Përsëriteni eksperimentin edhe me disa shkallë të ndryshme tendosjeje.

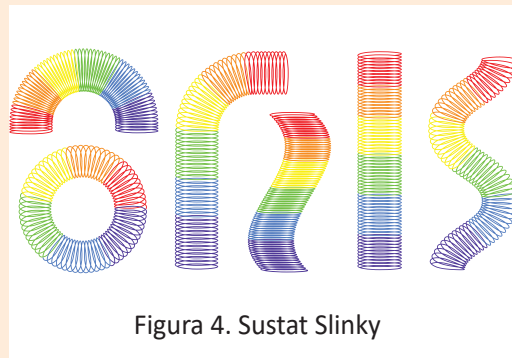


Figura 4. Sustat Slinky

Pyetje:

- Kur ndryshoni frekuencën e lëvizjes së dorës, a janë ndryshimet e valës të njëjta si në pjesën 2 apo ndryshojnë? Shpjegoni.
- Çfarë ndodh me formën e valës kur frekuenca është e njëjtë, ndërsa tendosja është e ndryshme? Po kur tendosja është e njëjtë, ndërsa frekuenca është e ndryshme?
- Cilët faktorë e përcaktojnë formën e valës që përhapet përgjatë sustës: lëvizja e dorës apo gjendja e sustës?

Valët e qëndrueshme

Në aktivitetin e mëparshëm, me ndihmën e një suste-lodër (slinky), u vëzhgua përhapja e një impulsi valor dhe e valëve harmonike. Sustën e përdorëm si model të një teli të tendosur. Gjatë ngacmimit periodik të telit krijohet një valë që përhapet përgjatë tij dhe pasi arrin në skajin e fiksuar, pasqyrohet. Meqenëse skaji i telit është i fiksuar, vala e pasqyruar kthehet me **ndryshim faze prej π** . Në këtë mënyrë, përgjatë telit përhapen njëkohësisht dy valë: vala që lëviz nga burimi drejt skajit të palëvizshëm të telit dhe vala e pasqyruar e cila lëviz në kahjen e kundërt.

Këto dy valë kanë **frekuencë dhe amplitudë të njëjtë**, ndërsa superpozicioni i tyre shkakton krijimin e një **vale të qëndrueshme**. Kjo valë ka formë karakteristike dhe duket sikur «qëndron» në të njëjtin vend. Vala e qëndrueshme nuk është një lloj i veçantë vale, por rezultat i superpozicionit të dy valëve që lëvizin në kahje të kundërta. Ajo nuk bart energji sepse përbëhet nga dy valë që bartin energji në kahje të kundërta.. Kur krijohet një valë e qëndrueshme, në tel ka pika që quhen **nyje** dhe që nuk lëkunden fare. Njëkohësisht, ekzistojnë pika që lëkunden me amplitudë maksimale. Këto pika quhen **barqe**. Numri i nyjeve dhe i barqeve varet nga frekuenca e ngacmimit, gjatësia dhe tendosja e telit. Te një tel i fiksuar në të dy skajet, skajet janë gjithmonë nyje. Largësia ndërmjet dy nyjeve fqinje (ose dy barqeve fqinje) është $\frac{\lambda}{2}$.

Meqenëse teli është i fiksuar në të dy skajet, valët e qëndrueshme mund të formohen vetëm kur gjatësia e telit L është numër i plotë i gjysmës së gjatësisë valore, përkatësisht:

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Gjatësia më e madhe valore ($n=1$) i përgjigjet tonit të parë harmonik, kur teli ka një bark ndërmjet dy nyjeve. Me rritjen e numrit rendor n , shfaqen gjithnjë e më shumë barqe, ndërsa gjatësia valore e valës qëndrueshme në tel zvogëlohet (figura 5). Gjatësia valore e një toni harmonik çfarëdo mund të llogaritet nga barazimi i mësipërm

$$\lambda = \frac{2L}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Frekuenca f e valës së qëndrueshme mund të llogaritet nëpërmjet shpejtësisë së valëve që përhapen përgjatë telit dhe gjatësisë valore:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{nv}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F}{\mu}}.$$

Kjo formulë shpjegon pse lartësia e tonit te instrumentet muzikore me tela varet nga disa faktorë. Gjatësia e telit përcakton gjatësinë valore të valës së qëndrueshme: telat më të shkurtër prodhojnë tone më të larta, ndërsa telat më të gjatë prodhojnë tone më të ulëta. Forca e tendosjes së telit ndikon në shpejtësinë e përhapjes së valëve përgjatë

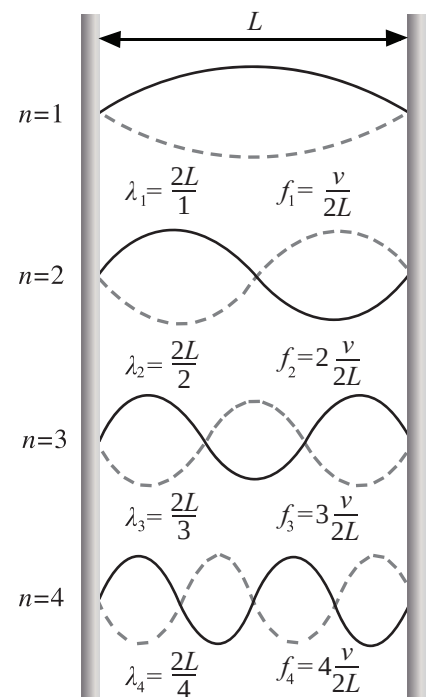


Figura 5. Valë e qëndrueshme në tel – toni themelor ($n=1$) dhe tonet harmonike të larta ($n>1$).

tij. Një forcë më e madhe tendosjeje nënkupton shpejtësi më të madhe dhe rrjedhimisht, frekuencë më të lartë të lëkundjes. Edhe dendësia lineare e telit luan rol të rëndësishëm: telat me dendësi lineare më të madhe lëkunden më ngadalë dhe prodhojnë tone më të ulëta, ndërsa telat me dendësi lineare më të vogël prodhojnë tone më të larta.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një tel me dendësi lineare $0,005 \text{ kg/m}$ tendoset nga një peshë me masë 2 kg . Gjatësia e telit është 1 m .

- Përcaktoni shpejtësinë me të cilën përhapen valët përgjatë telit.
- Çfarë mase duhet të ketë pesha e varur në skajin e telit, në mënyrë që të formohen 5 barqe me frekuencë 50 Hz ?

Të dhënat: $\mu = 0,005 \text{ kg/m}$, $L = 1 \text{ m}$, $m_1 = 2 \text{ kg}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Kërkohet: $v_1 - ?$, $f_1 - ?$, $m - ?$

Zgjidhje:

a) Duke përdorur barazimin për shpejtësinë e valës fitojmë $v_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\mu}} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{\mu}} = 62,6 \text{ m/s}$.

b) Për një tel me skaje të fiksuara $\lambda_1 = 2L$, prandaj frekuenca themelore është: $f_1 = \frac{v_1}{2L} = 31,3 \text{ Hz}$.

c) $n = 5$. Për valët e qëndrueshme $f = \frac{nv}{2L} \Rightarrow v = \frac{2Lf}{n}$. Nga $v = \sqrt{F/\mu}$ rrjedh: $F = \mu v^2$. Në fund për masën e peshës së varur fitojmë: $m = \frac{\mu v^2}{g} = 0,2 \text{ kg}$.

Valët e qëndrueshme në kolonën e ajrit (tuba)

Te instrumentet muzikore frymore nuk lëkundet teli, por ajri brenda tubit. Grimcat e ajrit lëkunden para-prapa rreth pozitive të tyre të ekuilibrit, në drejtimin e përhapjes së valës, duke krijuar valë longitudinale. Ashtu si te teli, valët pasqyrohen nga skajet e tubit dhe për shkak të superpozicionit të valëve rënëse dhe të pasqyruara, mund të krijohen valë të qëndrueshme. Te tubi i hapur në të dy skajet, ajri në skaje mund të lëkundet lirshëm. Prandaj, në të dy skajet krijohen barqe. Ndërmjet dy barqeve skajore mund të vendoset një numër i plotë pjesësh, secila e barabartë me gjysmën e gjatësisë valore (figura 6). Kjo është e kundërta e valëve të qëndrueshme në tel, ku në skaje krijohen nyje.

Kushti për krijimin e valës së qëndrueshme edhe në këtë rast, njësoj si te teli i tendosur dhe i fiksuar në të dy skajet, është:

$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

nga kjo rrjedh:

$$f = \frac{nv}{2L}.$$

Ky lloj valësh të qëndrueshme krijohet në instrumente si flauti

TUB I HAPUR NË TË DY SKAJET

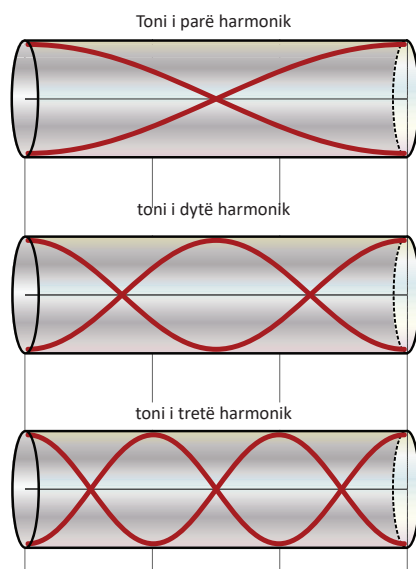


Figura 6. Valë e qëndrueshme në një kolonë ajri të hapur në të dy skajet – toni themelor dhe tonet harmonike të larta.

dhe në të gjitha instrumentet e tjera muzikore me tuba të hapur.

Te tubi i mbyllur në njërin skaj, ajri pranë skajit të mbyllur nuk mund të lëkundet, prandaj aty krijohet një **nyje**. Në skajin e hapur, ajri mund të lëkundet lirshëm dhe aty krijohet një **bark** (figura 7). Për shkak të kësaj shpërndarjeje, ndërmjet dy skajeve mund të vendoset vetëm një numër tek pjesësh, secila e barabartë me një të katërtën e gjatësisë valore.

$$L = (2n-1) \frac{\lambda}{4} \quad n=1, 2, 3, \dots$$

Nga kjo rrjedh::

$$\lambda = \frac{4L}{(2n-1)}, \quad n=1, 2, 3, \dots \text{ dhe } f = (2n-1) \frac{v}{4L}, \quad n=1, 2, 3, \dots$$

Pra, në tubin e mbyllur në njërin skaj shfaqen vetëm tone harmonike të rendit tek. Kjo shpjegon zërin karakteristik të instrumenteve frymore me pipëz, tek të cilat nuk shfaqen **tone harmonike të rendit çift**.

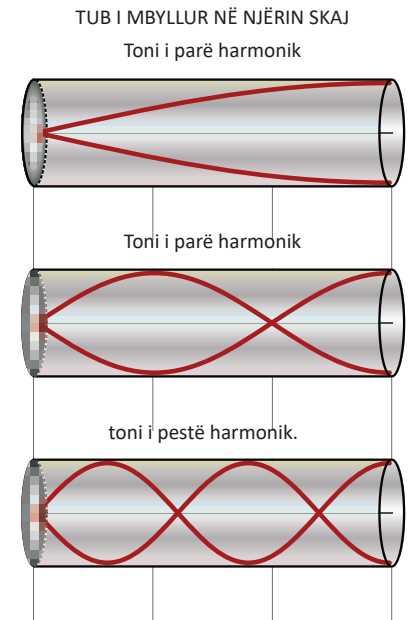


Figura 7. Valë e qëndrueshme në një kolonë ajri të mbyllur në njërin skaj – toni themelor dhe tonet harmonike të larta.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Një tub i hapur në të dy skajet ka gjatësi 0,75 m. Shpejtësia e zërit është 340 m/s. a) Përcaktoni frekuencën themelore.

b) Përcaktoni frekuencën e harmonikut të dytë.

c) Përcaktoni gjatësinë valore që i përgjigjet harmonikut të dytë dhe paraqitni shpërndarjen e nyjeve dhe të barqeve në tub.

Të dhënat: $L = 0,75 \text{ m}$, $v = 340 \text{ m/s}$

Kërkohet: $f_1 - ?$, $f_2 - ?$, $\lambda_2 - ?$

Zgjidhje:

Tubi është i hapur në të dy skajet, përkatësisht në skajet e tij formohen barqe. Për një tub të hapur vlen:

$$\lambda_n = \frac{2L}{n}, \quad f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

a) Frekuenca themelore ($n=1$): $f_1 = \frac{v}{2L} = \frac{340}{2 \cdot 0,75} = \frac{340}{1,5} = 226,7 \text{ Hz}$.

b) Harmoniku i dytë ($n=2$): $f_2 = \frac{2v}{2L} = \frac{v}{L} = 453,3 \text{ Hz}$.

c) Gjatësia valore e harmonikut të dytë: $\lambda_2 = \frac{2L}{2} = L = 0,75 \text{ m}$.

Për $n=2$: barqet ndodhen në 0 , $L/2$ dhe L ; ndërsa nyjet ndodhen në $L/4$ dhe $3L/4$.



PYETJE DHE DETYRA

- Si ndryshon pasqyrimi i valës nga skaji i fiksuar dhe nga skaji i lirë i telit (në lidhje me fazën dhe amplitudën)?
- Në cilat mjedise krijohen më shpesh valët e qëndrueshme?
- Cila është lidhja ndërmjet valëve të qëndrueshme dhe instrumenteve muzikore?

4. Shpjegoni pse, kur ndryshon frekuenca e burimit, ndryshojnë edhe pozitat e nyjeve dhe të barqeve të valët e qëndrueshme.
5. Një tel i tendosur dhe i fiksuar në të dy skajet ka gjatësi 5,0 m. Impulsi valor udhëton nga njëri skaj në tjetrin dhe kthehet përsëri për një kohë të përgjithshme prej 3,0 s.
 - a) Përcaktoni shpejtësinë e valës.
 - b) Në të njëjtin tel krijohet një valë e qëndrueshme me 4 barqe dhe 5 nyje. Me çfarë frekuençe lëkundet teli? (Zgjidhja: 3,33 m/s; 1,33 Hz)
6. Një tel me gjatësi 1,8 m është i fiksuar në të dy skajet. Shpejtësia e valëve përgjatë telit është 60 m/s. Përcaktoni gjatësinë valore dhe frekuencën e harmonikut të parë, të dytë dhe të tretë. (Zgjidhja: $\lambda_1 = 3,6\text{ m}$, $f_1 \approx 16,7\text{ Hz}$; $\lambda_2 = 1,8\text{ m}$, $f_2 \approx 33,3\text{ Hz}$; $\lambda_3 = 1,2\text{ m}$, $f_3 = 50\text{ Hz}$)
7. Një pirun akustik me frekuencë 256 Hz vendoset mbi një tub të mbyllur në njërin skaj (për shembull, me ujë). Gjatësia e kolonës së ujit mund të ndryshohet. Cila është gjatësia më e vogël e kolonës së ajrit në të cilën do të dëgjohet zëri më i fortë? (Zgjidhja: 0,33 m).

2.8. Efekti i Doplerit

Kur qëndroni në rrugë dhe pranë jush kalon një autoambulancë me sirenë të aktivizuar, do të vëreni se lartësia e tonit të sirenës ndryshon. Toni është më i lartë ndërsa autoambulanca afrohet dhe më i ulët kur ajo largohet. Lartësia e zërit varet nga frekuenca e tij e cila përcaktohet nga burimi i zërit. Frekuenca e sirenës së autoambulancës nuk ndryshon. Atëherë, si mund të shpjegohet ky ndryshim i lartësisë së tonit i cili dëgjohet qartë?

Kur autoambulanca është në prehje, vëzhguesi që qëndron në rrugë dëgjon të njëjtën frekuencë si shoferi. Megjithatë, kur automjeti lëviz, vëzhguesi regjistron ndryshim të lartësisë së tonit: Toni është më i lartë kur automjeti afrohet dhe më i ulët kur ai largohet. Ky ndryshim nuk shkaktohet nga ndryshimi i frekuencës së zërit që emeton sirena por nga lëvizja relative ndërmjet burimit të zërit dhe vëzhguesit.



AKTIVITETI 1.

Hulumtimi i efektit të Doplerit me anë të simulimit

Hapni simulimin për efektin e Doplerit (Physics: The Doppler Effect with Sound – GeoGebra) në faqen e mëposhtme të internetit: <https://www.geogebra.org/m/ffscYCRM>

Përgatitja

Aktivizoni zërin (Sound On).

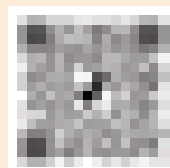
Nisni simulimin me burimin dhe vëzhguesin në prehje (vendosni Source Velocity = 0 m/s dhe Observer Velocity = 0 m/s).

- Shënoni frekuencën e burimit (Source Frequency)
- Shënoni frekuencën që dëgjon vëzhguesi (Perceived Frequency)
- Përshkruani frontet e valëve rreth burimit (nëse janë të larguara në mënyrë të barabartë nga njëra-tjetra)

Rasti 1: Burimi lëviz, ndërsa vëzhguesi është në prehje

Vendosni:

- shpejtësinë e vëzhguesit (Observer Velocity) 0 m/s
- burimin që t'i afrohet vëzhguesit me shpejtësi (Source Velocity) +30 m/s, +60 m/s, +90 m/s
- burimin që të largohet nga vëzhguesi me shpejtësi (Source Velocity) -30 m/s, -60 m/s, -90 m/s



Për secilën vlerë:

- vëreni largësinë ndërmjet fronteve të valëve rreth burimit;
- shënoni frekuencën që dëgjon vëzhguesi (Perceived Frequency)

Rasti 2: Vëzhguesi lëviz, ndërsa burimi është në prehje

Vendosni:

- shpejtësinë e burimit të zërit (Source Velocity) 0 m/s
- vëzhguesin që t'i afrohet burimit me shpejtësi (Observer Velocity) +30 m/s, +60 m/s, +90 m/s
- vëzhguesin që të largohet nga burimi me shpejtësi (Observer Velocity) -30 m/s, -60 m/s, -90 m/s
- Për secilën vlerë:
- vëreni largësinë ndërmjet fronteve të valëve;
- shënoni frekuencën që dëgjon vëzhguesi. (Perceived Frequency)

Rasti 3: Lëvizin si burimi, ashtu edhe vëzhguesi

Vendosni disa kombinime, në të cilat:

- vëzhguesi lëviz me shpejtësi të ndryshme (Observer Velocity) ± 30 m/s, ± 60 m/s, ± 90 m/s
 - burimi lëviz me shpejtësi të ndryshme (Source Velocity) ± 30 m/s, ± 60 m/s, ± 90 m/s
- Për secilën vlerë:
- vëreni largësinë ndërmjet fronteve të valëve përpara burimit;
 - shënoni frekuencën që dëgjon vëzhguesi (Perceived Frequency)

Pyetje:

- Si ndryshon largësia ndërmjet fronteve të valëve kur burimi i **afrohet** vëzhguesit?
- Si ndryshon kjo largësi kur burimi **largohet** nga vëzhguesi?
- A ndryshon frekuenca e zërit që dëgjon vëzhguesi kur burimi lëviz? Jepni vlera konkrete për secilin rast që shqyrtoat.
- Çfarë vëreni kur rritni shpejtësinë e burimit? Si ndikon kjo në frekuencën e zërit që dëgjon vëzhguesi?
- A vëreni ndryshim të frekuencës ndërmjet rastit kur vëzhguesi është në prehje dhe burimi lëviz dhe rastit kur vëzhguesi lëviz ndërsa burimi është në prehje?
- Çfarë ndodh kur lëvizin si vëzhguesi ashtu edhe burimi? Nga çfarë varet nëse frekuenca e regjistruar do të jetë më e madhe apo më e vogël se frekuenca e emetuar?

Në aktivitetin e mëparshëm, me ndihmën e një simulimi vëzhguam ndryshimet në shpërndarjen e fronteve të valëve të zërit dhe në frekuencën e zërit që regjistron vëzhguesi në situata të ndryshme të lëvizjes. Nga vëzhgimet mund të përfundojmë se frekuenca e zërit që dëgjon vëzhguesi nuk varet vetëm nga frekuenca e zërit që emeton burimi, por edhe nga lëvizja relative ndërmjet burimit dhe vëzhguesit. Ndryshime vërehen kur:

1. lëviz vetëm burimi në raport me vëzhguesin;
2. lëviz vetëm vëzhguesi në raport me burimin
3. C lëvizin si burimi, ashtu edhe vëzhguesi.

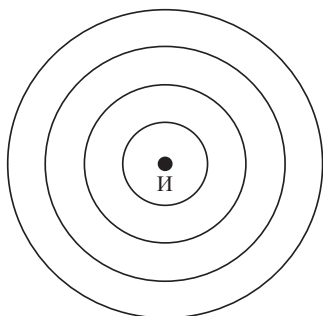
Dukuria gjatë së cilës frekuenca e regjistruar ndryshon për shkak të lëvizjes relative ndërmjet burimit dhe marrësit quhet efekt i Doplerit. Ky efekt nuk shfaqet vetëm te valët e zërit por edhe te të gjitha llojet e tjera të valëve, duke përfshirë valët elektromagnetike, siç është drita. Në vijim do t'i shqyrtojmë veçmas këto tri raste të lëvizjes relative.

1. Burimi është në prehje, ndërsa vëzhguesi lëviz

Le të shqyrtojmë një burim pikësor që ndodhet në prehje dhe emeton valë zëri me frekuencë f dhe gjatësi valore λ . Frontet e valëve përhapen njëtrajtshëm me shpejtësi v . Në figurën 1 ato janë paraqitur si rrathë koncentrikë që përhapen nga një burim pikësor në prehje.

Nëse edhe vëzhguesi është në prehje, ai regjistron frekuencën e burimit:

$$f = \frac{v}{\lambda}.$$



Nëse edhe vëzhguesi është në prehje, ai regjistron frekuencën e burimit

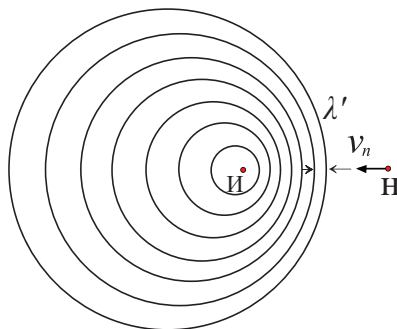


Figura 2. Vëzhguesi lëviz drejt burimit, ndërsa burimi i valës është në prehje

Nëse vëzhguesi lëviz drejt burimit (figura 2) me shpejtësi v_n , valët arrijnë tek ai me shpejtësi relative $v + v_n$. Frekuenca që regjistron vëzhguesi është:

$$f' = \frac{v + v_n}{\lambda}.$$

Meqenëse burimi është në prehje, vlen: $f = \frac{v}{\lambda}$, nga kjo rrjedh

$$f' = f \frac{v + v_n}{v}.$$

Nëse vëzhguesi largohet nga burimi, shpejtësia relative zvogëlohet dhe shprehja merr formën:

$$f' = f \frac{v - v_n}{v}.$$

2. Vëzhguesi është në prehje, ndërsa burimi lëviz

Kur burimi lëviz, valët nuk emetohen nga e njëjta pikë e hapësirës prandaj frontet e valëve nuk janë rrathë koncentrikë. Në kahjen e lëvizjes së burimit gjatësia valore zvogëlohet ndërsa në kahjen e kundërt zmadhohet.

Meqenëse shpejtësia e zërit në një mjedis të caktuar mbetet e njëjtë, ndryshimi i gjatësisë valore shkakton ndryshimin e frekuencës sepse vlen $v = \lambda f$. Nëse burimi lëviz drejt vëzhguesit me shpejtësi v_i , gjatë një

periode T ai përshkon largësinë $v_i T$. Prandaj, gjatësia valore përpara burimit është $\lambda' = \lambda - v_i T$, ose e shprehur nëpërmjet frekuencave:

$$\frac{v}{f'} = \frac{v}{f_i} - \frac{v_i}{f_i}.$$

për rastin kur burimi i afrohet vëzhguesit dhe për rastin kur burimi largohet prej tij, fitojmë shprehje që mund të paraqiten me një barazim të vetëm

$$f' = f_i \frac{v}{v \mp v_i}$$



Figura 3. Vëzhguesi është në prehje, ndërsa burimi i valës lëviz drejt tij.

ku:

- „-“ përdoret kur burimi i afrohet vëzhguesit;
- „+“ përdoret kur burimi largohet nga vëzhguesi.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një automjet policie lëviz në vijë të drejtë me shpejtësi 90 km/h dhe ka një sirenë që emeton zë me frekuencë 750 Hz. Shpejtësia e zërit është 340 m/s. Një çiklist qëndron i palëvizshëm pranë rrugës.

- Çfarë frekuence do të dëgjojë çiklisti ndërsa automjeti afrohet?
- Çfarë frekuence do të dëgjojë pasi automjeti ta kalojë dhe të largohet prej tij?

Të dhënat: $v_i = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$, $f_i = 750 \text{ Hz}$, $v = 340 \text{ m/s}$, $v_n = 0$

Kërkohet: $f' - ?$

Kërkohet:

a) Burimi afrohet:

$$f' = f_i \frac{v}{v - v_i} = 809 \text{ Hz}.$$

b) Burimi largohet:

$$f' = f_i \frac{v}{v + v_i} = 699 \text{ Hz}.$$

3. Burimi dhe vëzhguesi janë në lëvizje

Në rastin më të përgjithshëm, kur lëvizin si burimi, ashtu edhe vëzhguesi, efektet e lëvizjeve të tyre kombinohen. Në këtë rast, frekuenca që regjistron vëzhguesi fitohet duke bashkuar shprehjet e dy rasteve të mëparshme dhe jepet me formulën:

$$f' = f \frac{v \pm v_n}{v \mp v_i}.$$

Në numërues merret:

- „+“ kur vëzhguesi lëviz drejt burimit;
- „-“ kur vëzhguesi largohet nga

Në emërues merret:

- „-“ kur burimi lëviz drejt vëzhguesit;
- „+“ kur burimi largohet nga vëzhguesi.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Dy barka lëvizin drejt njëra-tjetrës përgjatë një vije të drejtë. Barka A lëviz me shpejtësi 8 m/s dhe ka një altoparlant që emeton zë me frekuencë 600 Hz. Barka B lëviz me shpejtësi 5 m/s dhe ka një altoparlant që emeton zë me frekuencë 900 Hz. Shpejtësia e zërit në ajrin mbi liqen është 340 m/s.

- Çfarë frekuence të zërit të emetuar nga altoparlanti i barkës A dëgjon udhëtari në barkën B?
- Çfarë frekuence të zërit të emetuar nga altoparlanti i barkës B dëgjon udhëtari në barkën A?

Të dhënat:

Shpejtësia e zërit $v = 340 \text{ m/s}$, Barka A: $v_A = 8 \text{ m/s}$, $f_A = 600 \text{ Hz}$,
Barka B: $v_B = 5 \text{ m/s}$, $f_B = 900 \text{ Hz}$
barkat lëvizin drejt njëra-tjetrës.

Kërkohe:

$$f'_{A \rightarrow B} - ? ,$$

$$f'_{B \rightarrow A} - ?$$

Zgjidhje:

Formula e përgjithshme kur burimi dhe marrësi lëvizin drejt njëri-tjetrit: $f' = f_i \frac{v + v_n}{v - v_i}$.

a) Frekuenca e zërit të emetuar nga altoparlanti i barkës A, të cilën :

$$f_i = f_A = 600 \text{ Hz}, v_i = v_A = 8 \text{ m/s}, v_n = v_B = 5 \text{ m/s} \Rightarrow f'_{A \rightarrow B} = 623,5 \text{ Hz}.$$

b) Frekuenca e zërit të emetuar nga altoparlanti i barkës B, të cilën :

$$f_i = f_B = 900 \text{ Hz}, v_i = v_B = 5 \text{ m/s}, v_n = v_A = 8 \text{ m/s} \Rightarrow f'_{B \rightarrow A} \approx 934,9 \text{ Hz}.$$

Vërejmë se të dy udhëtarët dëgjojnë frekuencë më të lartë se ajo e emetuar sepse burimi dhe marrësi lëvizin drejt njëri-tjetrit.

Efekti i Doplerit në astronomi

Efekti i Doplerit vlen për të gjitha llojet e valëve, duke përfshirë edhe valët elektromagnetike. Kjo ka rëndësi të veçantë në astronomi sepse pothuajse të gjitha informacionet që marrim për trupat qiellorë arrijnë te ne në formën e rrezatimit elektromagnetik (dritës).

Në astronomi, efekti i Doplerit përdoret për të përcaktuar shpejtësinë e lëvizjes së trupave qiellorë. Për shembull, mund të përcaktohet nëse një yll po i afrohet Tokës apo po largohet prej saj, si dhe shpejtësia me të cilën lëviz. Kjo është e mundur sepse spektri i dritës që emeton një yll është i njohur mirë. Yjet e të njëjtit lloj kanë spektër shumë të ngjashëm, prandaj duke krahasuar spektrin e vrojtuar me spektrin laboratorik, mund të matet zhvendosja e vijave spektrale.

Nëse vijat spektrale zhvendosen drejt pjesës blu të spektrit (zhvendosje drejt blusë), ylli lëviz drejt nesh. Nëse ato zhvendosen drejt pjesës së kuqe (zhvendosje drejt së kuqes), ylli largohet prej nesh.

Gjatë dekadave të fundit, efekti i Doplerit ka luajtur rol kyç edhe në zbulimin e ekzoplaneteve. Prania e një planeti shkakton një lëvizje të vogël periodike të yllit rreth qendrës së përbashkët të masës. Si pasojë e kësaj lëvizjeje, spektri i yllit shfaq zhvendosje të vogla periodike të Doplerit. Zbulimi i këtyre zhvendosjeve përbën një nga metodat më efikase për zbulimin e ekzoplaneteve (figura 4).

Përveç efektit klasik të Doplerit, në astronomi haset edhe zhvendosja kozmologjike drejt së kuqes. Këtë dukuri e vërejti për herë të parë Edvin Habëll i cili konstatoi se spektrat e galaktikave të largëta janë zhvendosur sistematikisht drejt pjesës së kuqe të spektrit. Kjo tregon se galaktikat e largëta po largohen prej nesh.

Sot dihet se kjo zhvendosje drejt së kuqes nuk është pasojë e lëvizjes klasike nëpër hapësirë, por e zgjerimit të Universit në tërësi. Ndërsa Universi zgjerohet, bashkë me të «zgjaten» edhe gjatësitë valore të dritës që udhëton nëpër hapësirë. Sa më larg të ndodhet burimi, aq më gjatë ka

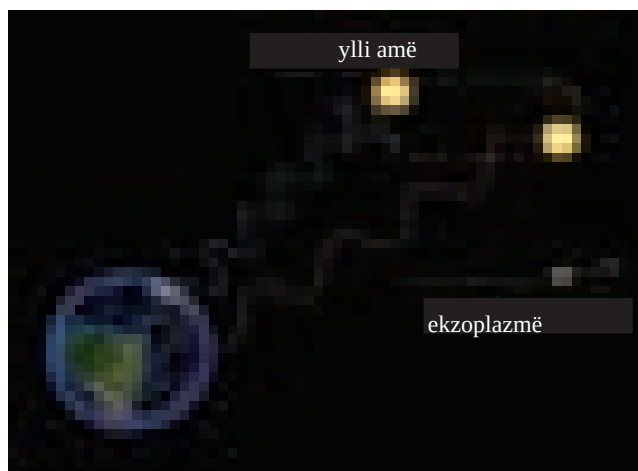


Figura 4. Lëvizja periodike e yllit nën veprimin e një planeti shkakton zhvendosje periodike të Doplerit.

(Figura European Southern Observatory - European Southern Observatory, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5168982>)

udhëtuar drita nëpër Universin në zgjerim dhe aq më e madhe është zhvendosja kozmologjike drejt së kuqe (figura 5).

Efekti i Doplerit në mjekësi

Me zbatimin e efektit të Doplerit me ultratinguj mund të përcaktohet shpejtësia e rrjedhjes së gjakut në enët e gjakut. Valët ultrasonike që emeton sonda pasqyrohen nga rruzat e kuqe të cilat lëvizin së bashku me gjakun. Për shkak të lëvizjes së tyre, frekuenca e valës ultrasonike të pasqyruar ndryshon nga frekuenca e valës së emetuar.

Sonda i emeton dhe i merr njëkohësisht valët ultrasonike prandaj ndryshimi ndërmjet frekuencës së valës së emetuar dhe asaj të pasqyruar mund të matet drejtpërdrejt. Ky ndryshim i frekuencave është pasojë e efektit të Doplerit dhe përmban informacion për shpejtësinë e rrjedhjes së gjakut. Sa më i madh të jetë ndryshimi i frekuencës, aq më e madhe është edhe shpejtësia e gjakut.

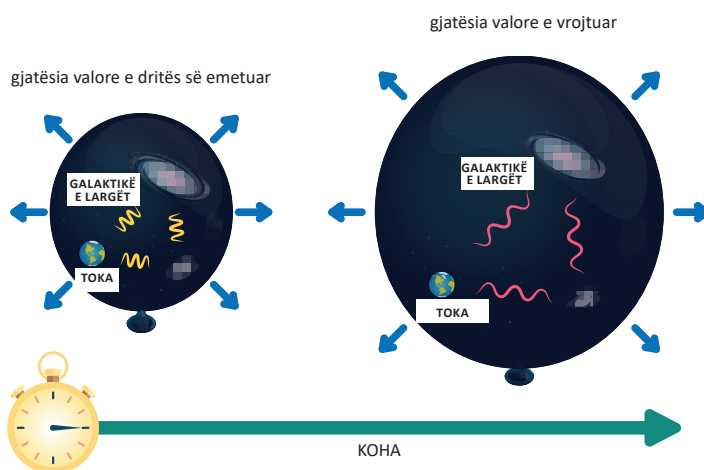


Figura 5. Zhvendosja kozmike e Doplerit

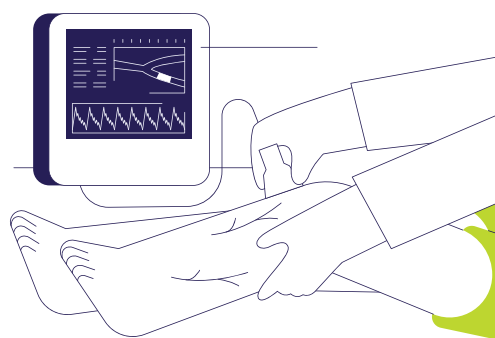


Figura 6. Efekti i Doplerit me ultratinguj në mjekësi



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Në një ambulancë vaskulare kryhet matja me ultratinguj Doppler e shpejtësisë së rrjedhjes së gjakut në aortën abdominale. Për shkak të ndërtimit të ndryshëm trupor dhe thellësisë së enës së gjakut, te dy pacientë përdoren frekuenca të ndryshme të sondës me ultratinguj: Pacienti 1: sondë me frekuencë 3,5 MHz. Pacienti 2: sondë me frekuencë 5 MHz. Në të dyja rastet, rrezja e ultratingujve kahëzohet përgjatë rrjedhjes së gjakut, ndërsa aparati regjistron të njëjtën zhvendosje të Doplerit prej 2 kHz. Shpejtësia e zërit në gjak është 1540 m/s.

- Llogarit shpejtësinë e rrjedhjes së gjakut te pacienti 1.
- Llogarit shpejtësinë e rrjedhjes së gjakut te pacienti 2.
- Shpjego pse, pavarësisht zhvendosjes së njëjtë të Doplerit, shpejtësitë e fituara nuk janë të barabarta

Të dhënat: $f_u = 2 \text{ kHz} = 2 \cdot 10^3 \text{ Hz}$, $v_z = 1540 \text{ m/s}$, a) $f = 3,5 \text{ MHz} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$, b) $f = 5 \text{ MHz} = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz}$	Kërkohet: $v - ?$
Zgjidhje: Zhvendosja e parë e Doplerit (eritrociti si vëzhgues): $f' = f \frac{v_z - v}{v_z}$. Zhvendosja e dytë e Doplerit (eritrociti si burim, sonda si vëzhguese): $f'' = f' \frac{v_z}{v_z + v}.$	

$$\text{Zëvendësojmë: } f'' = f \frac{v_z - v}{v_z} \cdot \frac{v_z}{v_z + v} = f \frac{v_z - v}{v_z + v}.$$

$$\text{zëvendësojmë: } f_u = f - f'' \Rightarrow f_u = f - f \frac{v_z - v}{v_z + v} \Rightarrow v = \frac{f_u}{2f - f_u} v_z.$$

a) Pacienti 1: $f = 3,5 \text{ MHz} = 3,5 \cdot 10^6 \text{ Hz} \Rightarrow v_1 = 0,44 \text{ m/s}.$

b) Pacienti 2: $f = 5 \text{ MHz} = 5 \cdot 10^6 \text{ Hz} \Rightarrow v_2 = 0,31 \text{ m/s}.$

c) Pacienti $v = \frac{f_u}{2f - f_u} v_z$ shihet se për të njëjtën f_u dhe të njëjtën v_z , shpejtësia v varet nga frekuenca e sondës f . Kur f është më e madhe, shprehja $(2f - f_u)$ është më e madhe, prandaj shpejtësia e fituar v është më e vogël. Prandaj, edhe pse zhvendosja e Doplerit është e njëjtë (2 kHz), frekuencat e ndryshme të sondës japin shpejtësi të ndryshme.



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse te valët e zërit shpejtësia e zërit në mjedis nuk ndryshon edhe pse ndryshon frekuenca e regjistruar?
2. Si do të ndryshojë zhvendosja e Doplerit nëse rritet frekuenca e burimit, ndërsa të gjitha kushtet tjera mbeten të njëjta?
3. A mund të regjistrohet efekti i Doplerit nëse edhe burimi edhe marrësi lëvizin me të njëjtën shpejtësi dhe në të njëjtën kahje? Shpjego përgjigjen tënde.
4. A mund të përdoret efekti i Doplerit për të përcaktuar kahjen e lëvizjes së burimit? Shpjego si.
5. Një burim zëri qëndron në vend dhe emeton një ton me frekuencë 1000 Hz. Vëzhguesi A lëviz drejt burimit me 10 m/s ndërsa vëzhguesi B largohet me 10 m/s. Llogarit frekuencat që i dëgjojnë të dy vëzhguesit A dhe B. (Zgjidhja: 1029 Hz dhe 971 Hz)
6. Një burim emeton zë me frekuencë 500 Hz dhe lëviz drejt një vëzhguesi me shpejtësi 15 m/s. Në të njëjtën kohë, marrësi po lëviz drejt burimit me shpejtësi 5 m/s. Çfarë frekuence regjistron marrësi? (Zgjidhja: 531 Hz).
7. Një radar dërgon valë elektromagnetike me frekuencë 10 GHz dhe regjistron një zhvendosje të Doplerit prej 1,2 kHz pas pasqyrit nga një automobil. Llogarit shpejtësinë e automobilit. (Zgjidhja: 65 km/h)

Tema 2

PYETJE DHE DETYRA

1. Dy oscilatorë harmonikë lëkunden me të njëjtën periodë, por i dyti ka amplitudë dy herë më të madhe se i pari. Krahasoni:
 - a) Shpejtësitë e tyre maksimale
 - b) Energjitë e tyre kinetike maksimale
2. Dy trupa lëkunden me të njëjtën frekuencë, ndërsa trupi i dytë ka amplitudë dy herë më të madhe se i pari. Si sillen periodat e tyre të lëkundjes? Arsyeto përgjigjen.
3. A është e mundur që, në kushtet e Tokës dy lavjerrës matematikë me gjatësi të ndryshme të lëkunden me të njëjtën periodë? Arsyeto përgjigjen.
4. Te lëvizja lëkundëse e shuar, amplituda zvogëlohet me kalimin e kohës. A duhet të ndryshojë domosdoshmërisht edhe frekuenca e oscilatorit? Shpjego.
5. Shpjegoni pse gjatë lëvizjes valore bartet energji, por jo materia.
6. Dy valë përhapen nëpër të njëjtin mjedis. Frekuenca e valës së parë është dy herë më e madhe se ajo e valës së dytë, ndërsa amplituda e valës së dytë është dy herë më e madhe se ajo e valës së parë. Krahasoni valët sipas:
 - a) Shpejtësive të tyre.
 - b) Energjisë që bart secila prej tyre.
7. Një valë kalon nga një mjedis më i rrallë në një mjedis më të dendur. A duhet të ndodhë domosdoshmërisht përthyerja e valës? Arsyeto përgjigjen.
8. Dy pika të një vale ndodhen në largësi $\lambda/4$. nga njëra-tjetra. A:
 - a) janë në fazë?
 - b) mund të kalojnë njëkohësisht nëpër pozitën e ekuilibrit?
9. Në një tel të fiksuar në të dy skajet krijohet një valë e qëndrueshme me nyje në skaje. Nëse rritet frekuenca e lëkundjes së burimit, çfarë duhet të ndryshojë që të krijohet një valë e re e qëndrueshme? Shpjego.
10. Një vëzhgues dhe një burim zëri lëvizin drejt njëri-tjetrit. Duke përdorur formulat e efektit të Doplerit, shpjegoni nga se varet frekuenca e zërit që regjistron vëzhguesi gjatë lëvizjes së tyre relative.
11. Një nxënës përcakton periodën e një lavjerrësi matematik me gjatësi 1,00 m dhe për periodën fiton vlerën 1,8 s.
 - a) Sa është perioda e lavjerrësit matematik e llogaritur me formulë?
 - b) Tregoni të paktën dy shkaqe të shmangies së vlerës së matur nga ajo e llogaritur
 - c) Propozoni një mënyrë për përmirësimin e matjes, në mënyrë që nxënësi të fitojë rezultat më të saktë. (Zgjidhja: $T = 2,0$ s)

12. Një trup me masë 0,50 kg është varur në një sustë dhe sistemi lëkundet me periodë 1,0 s. Kur trupi kalon nëpër pozitën e ekuilibrit, shpejtësia e tij është 0,80 m/s.
- Përcaktoni koeficientin e elasticitetit të sustës.
 - Përcaktoni amplitudën e lëkundjes.
 - Sa është energjia mekanike e oscilatorit elastik?
(Zgjidhja $k = 20 \text{ N/m}$, $A = 0,13 \text{ m}$, $E = 0,16 \text{ J}$)
13. Një trup lëkundet në mënyrë harmonike. Kur elongacioni i tij është 3,0 cm, shpejtësia është 40 cm/s, ndërsa kur elongacioni është 5,0 cm, shpejtësia ka vlerën 20 cm/s.
- Përcaktoni amplitudën e lëkundjeve.
 - Përcaktoni frekuencën rrethore.
 - Përcaktoni periodën e lëkundjes.
(Zgjidhja: $A = 5,5 \text{ cm}$, $\omega = 8,7 \text{ rad/s}$, $T = 0,72 \text{ s}$)
14. Një oscilator harmonik ka amplitudë A. Në momentin kur elongacioni është A/2, përcaktoni se ç'pjesë e energjisë së përgjithshme mekanike është energji potenciale.
(Zgjidhja: 25%)
15. Një oscilator elastik lëkundet me periodë 0,50 s dhe është i lidhur me një litar të gjatë e të tendosur. Nëse shpejtësia e valës përgjatë litarit është 25 m/s, përcaktoni:
- Gjatësinë valore.
 - Diferencën fazore ndërmjet dy pikave që ndodhen 3 m larg njëra-tjetrës.
 - A lëkunden këto dy pika në të njëjtën fazë apo në kundërfazë?
(Zgjidhja: $\lambda = 12,5 \text{ m}$, $\Delta \varphi = 1,5 \text{ rad/s}$)
16. Një valë përhapet në të njëjtin mjedis. Në një moment të caktuar, burimi i valës e dyfishon frekuencën.
- Çfarë ndodh me gjatësinë valore?
 - Çfarë ndodh me shpejtësinë e valës?
(Zgjidhja: $\lambda_2 = \lambda_1 / 2$, $v_2 = v_1$)
17. Në momentin $t = 0$ burimi fillon të lëkundet me frekuencë 6 Hz. Shpejtësia e valës është 15 m/s. Sa sekonda pas fillimit të lëkundjeve dy pika që ndodhen 100 m larg njëra-tjetrës do të lëkunden në fazë?
(Zgjidhja $t = 6,67 \text{ s}$)
18. Një tel është tendosur në mënyrë që frekuenca e tonit themelor të jetë 100 Hz. Në të është lidhur një oscilator që lëkundet me frekuencë 100 Hz dhe amplitudë 3 cm.
- A do të krijohet valë e qëndrueshme në tel?
 - Është forcën e tendosjes së telit e rrisim katër herë, çfarë ndodh me valën dhe si ndryshon shpejtësia e saj?
(Zgjidhja: a) po; b) $v_2 = 2v_1$)
19. Amplituda e një oscilatori zvogëlohet nga 6,0 cm në 3,0 cm pas 5 lëkundjesh.
- Përcaktoni faktorin e amortizimit.
 - Pas sa lëkundjesh amplituda do të jetë 1,0 cm?
(Zgjidhja: $\beta = 1,15$; 13 lëkundje)
20. Një burim i zërit me frekuencë 500 Hz lëviz drejt një vëzhguesi me shpejtësi 10 m/s ndërsa vëzhguesi lëviz drejt burimit me shpejtësi 5 m/s. Llogaritni frekuencën e zërit që regjistron vëzhguesi.
(Zgjidhja: $f' = 523 \text{ Hz}$)

TEMA 3:

Optika gjeometrike

Drita është një nga dukuritë më të rëndësishme në natyrë, sepse falë saj shohim botën përreth nesh. Ajo na mundëson të dallojmë objektet, formën, ngjyrën dhe pozitën e tyre në hapësirë, ndërsa sjellja e saj mund të përshkruhet me saktësi nëpërmjet ligjeve fizike.

Dega e fizikës që studion ligjet e përhapjes së dritës dhe bashkëveprimin e saj me trupat fizikë dhe mjediset optike quhet optikë. Në këtë temë do të shqyrtojmë optikën gjeometrike, e cila është pjesë e optikës ku drita përshkruhet nëpërmjet modelit të idealizuar të rrezeve të dritës. Ky model mundëson shpjegimin e thjeshtë dhe të qartë të dukurive optike.

Në optikën gjeometrike studiohen pasqyrimi dhe përthyerja e dritës, si dhe formimi i shëmbëllimeve të pasqyrat dhe thjerrat. Këto dukuri përbëjnë bazën për të kuptuar funksionimin e shumë pajisjeve optike. Nëpërmjet studimit të optikës gjeometrike, do të fitoni njohuri për sjelljen e dritës dhe zbatimin e saj në jetën e përditshme, në shkencë dhe në teknikë.

Rezultatet e të nxënit

Nxënësi/nxënësja do të jetë i/e aftë:

1. të shpjegojë dhe të krahasojë teori të ndryshme për natyrën e dritës, si dhe të zbatojë barazimin për shpejtësinë e dritës në mjedise të ndryshme optike;
2. të shpjegojë pasqyrimin e dritës, të formulojë Ligjin e pasqyrit dhe të ndërtojë shëmbëllimin e një objekti në pasqyrë të rrafshët, duke përshkruar karakteristikat e tij;
3. të dallojë llojet e pasqyrave, të identifikojë elementet e tyre, të ndërtojë shëmbëllime dhe të zbatojë barazimin e pasqyrës sferike;
4. të shpjegojë dhe të paraqesë grafikisht përthyerjen e dritës nëpër mjedise të ndryshme, si dhe të zbatojë barazimin e përthyerjes së dritës gjatë zgjidhjes së detyrave;
5. të shpjegojë dukurinë e pasqyrit total, të zbatojë barazimin për këndin kufitar dhe të japë shembuj të zbatimit të kësaj dukurie në natyrë dhe në teknologji;
6. të dallojë thjerrat përmbledhëse nga ato shpërndarëse, të identifikojë elementet e tyre, të ndërtojë shëmbëllime dhe të zbatojë barazimin e thjerrës së hollë;
7. të shpjegojë formimin e shëmbëllimit në syrin e njeriut, të lidhë korrigjimin e të metave të syrit me thjerrat optike dhe të përshkruajë formimin e shëmbëllimeve me mikroskop dhe teleskop;
8. të shpjegojë dhe të demonstrojë shpërndarjen e dritës, të analizojë barazimin për këndin e devijimit të prizma dhe të dallojë dritën monokromatike nga ajo polikromatike.

3.1. Teoritë për natyrën e dritës

Shpejtësia e dritës

Çfarë është drita? Njerëzit ia kanë parashtruar vetes këtë pyetje prej shekujsh ndërsa përgjigjja edhe sot nuk është e thjeshtë. Gjatë historisë, shkencëtarët janë përpjekur ta shpjegojnë dritën në mënyra të ndryshme duke zhvilluar modele që përshkruajnë sjelljen e saj. Dy nga këto teori mund të shpjegojnë me sukses dukuri të caktuara që lidhen me dritën, por asnjëra prej tyre, e marrë veçmas, nuk mjafton për të shpjeguar të gjitha vetitë e saj. Në këtë mësim do të shqyrtojmë se si eksperimentet kanë treguar që, për ta kuptuar plotësisht dritën, nevojitet më shumë se një ide dhe pse natyra e saj nuk mund të përshkruhet me një model të vetëm.

Një shembull që dëshmon natyrën grimcore të dritës është efekti fotoelektrik të cilin do ta shqyrtojmë më hollësisht në temën vijuese. Efekti fotoelektrik (figura 1) tregon se drita mund të sillet si grimcë. Kur drita me frekuencë mjaftueshëm të lartë bie mbi sipërfaqen e një materiali, prej tij shpërcihen elektrone. Ky efekt varet nga frekuenca e dritës, e jo nga intensiteti i saj dhe nuk mund të shpjegohet nëse drita trajtohet si valë.

Një shembull tjetër që tregon natyrën grimcore të dritës janë kometat. Kur kometa i afrohet Diellit, asaj i formohet një bisht, i cili është gjithmonë i drejtuar në kah të kundërt me Diellin, pavarësisht nga drejtimi i lëvizjes së saj. Kjo tregon se mbi materien e kometës vepron një forcë që e shtyn atë larg Diellit.

Në të vërtetë, kjo dukuri shkaktohet nga dy veprime: nga era diellore e përbërë nga grimca të ngarkuara elektrikisht që emetohen nga Dielli, e cila vepron mbi gazrat e jonizuara të kometës dhe formon bishtin jonik; dhe nga shtypja e rrezatimit, përkatësisht veprimi i dritës mbi grimcat e pangarkuara elektrikisht. Gjatë përplasjes, drita u jep impuls grimcave dhe formon bishtin e pluhurit. Ky efekt, i njohur si shtypja e rrezatimit, përbën dëshmi se drita mund të sillet si grimcë.

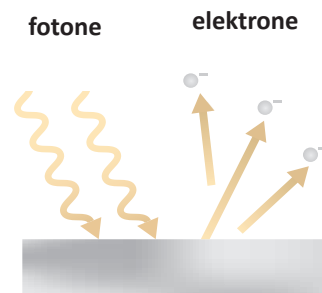


Figura 1. Efekti fotoelektrik



Figura 2. Kometa në pozita të ndryshme të orbitës së saj rreth Diellit

Teoria sipas së cilës drita përbëhet nga grimca quhet teoria korpuskulare. Këto grimca quhen fotone. Fotonet kanë energji dhe impuls, por nuk kanë masë.

Megjithatë, ekzistojnë edhe eksperimente që nuk mund të shpjegohen me teorinë korpuskulare. Ato tregojnë se drita sillet si valë. Në kapitullin e mëparshëm mësuam për parimin e superpozicionit të valëve, sipas të cilit valët mund të mbivendosen, përkatësisht të interferojnë.

Kur drita vjen nga burime koherente (burime që gjenerojnë valë me amplitudë dhe frekuencë rrethore të njëjtë, ndërsa diferenca fazore ndërmjet tyre është konstante), valët e dritës interferojnë dhe në ekran formohet një skemë karakteristike me shirita të ndritshëm dhe të errët (figura 3). Këta shirita krijohen si rezultat i përforsimit dhe dobësimit të ndërsjellë të valëve nga burime të ndryshme. Një dukuri e tillë nuk mund të shpjegohet me një model në të cilin drita trajtohet si grimcë.



Figura 3. Interferenca e valëve të ujit (majtas), krahasuar me interferencën e valëve të dritës (në mes), dhe skema e interferencës së dritës e përftuar në ekran (djathtas).

Valët e dritës i përkasin grupit të **valëve elektromagnetike**. Ndryshe nga valët mekanike, tek të cilat lëkundjen grimcat e mjedisit, te valët elektromagnetike lëkundjen fusha elektrike dhe fusha magnetike. Këto dy lëkundje, të lidhura në mënyrë të ndërsjellë, përhapen nëpër hapësirë dhe krijojnë valën elektromagnetike (figura 4). Valët elektromagnetike janë transversale dhe, ndryshe nga valët mekanike, mund të përhapen edhe në vakum. Ashtu si të gjitha valët, ato karakterizohen nga amplituda, frekuenca, perioda, gjatësia valore dhe shpejtësia e përhapjes.

Sipas teorisë valore, drita sillet si valë elektromagnetike, me anë të së cilës shpjegohen me sukses dukuri të tilla si interferenca, difraksioni dhe polarizimi. Meqenëse eksperimentet vërtetojnë si natyrën valore, ashtu edhe natyrën korpuskulare të dritës, thuhet se ajo ka natyrë të dyfishtë, e cila përshkruhet me **teorinë korpuskulare-valore**.

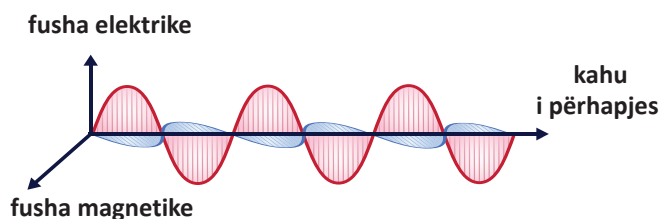


Figura 4. Vala elektromagnetike

Shpejtësia e dritës

Pasi shqyrtuam natyrën e dritës, shtrohet pyetja se si ajo përhapet nëpër hapësirë. Ashtu si çdo valë, drita përhapet me një shpejtësi të caktuar, ndërsa vlerën më të madhe e arrin gjatë përhapjes në vakum

Shpejtësia e dritës në vakum, e shënuar me c , është konstante dhe ka vlerën e saktë $299792458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Kjo vlerë e saktë përdoret për përkufizimin e metrit, ndërsa në llogaritje më së shpeshti përdoret vlera e përafërt: $3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Meqenëse drita ka natyrë valore, për të vlejné edhe barazimet që përdorëm për dukuritë valore. Prandaj, edhe për dritën vlen barazimi për shpejtësinë e valës, i shprehur nëpërmjet frekuencës (f) dhe gjatësisë valore (λ):

$$c = \lambda f$$

ku frekuenca e valës elektromagnetike përcaktohet nga burimi që e krijon atë.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Drita e gjelbër ka gjatësi valore 550 nm. Sa është frekuenca e saj?

Të dhënat:

$$\lambda = 550 \text{ nm} = 550 \cdot 10^{-9} \text{ m},$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Kërkohet: f - ?

Zgjidhje:

Përdorim barazimin për shpejtësinë e dritës. Nga ky barazim shprehim frekuencën:

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{c}{\lambda}$$

Me zëvendësimin e vlerave numerike fitohet

$$f = 545 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1} = 545 \text{ THz}.$$

Shpejtësia e dritës gjatë përhapjes nëpër një mjedis material është më e vogël se në vakum, për shkak të bashkëveprimit të saj me atomet e materialit. Ajo varet nga vetitë elektrike dhe magnetike të mjedisit. Kjo varësi përshkruhet nga teoria e Maksuellit. Sipas kësaj teorie, shpejtësia e dritës në një mjedis të caktuar material mund të llogaritet me formulën:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}},$$

ku ϵ_r është konstanta dielektrike relative e mjedisit, ndërsa μ_r permeabiliteti magnetik relativ i mjedisit.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Drita përdoret për transmetimin e informacioneve në sistemet bashkëkohore të telekomunikacionit, veçanërisht nëpërmjet fibrave optike. Një sinjal drite duhet të transmetohet në largësi 20 km.

Shpejtësia e dritës në vakum është $3 \cdot 10^8$ m/s, ndërsa në fibrën optike ajo përhapet me shpejtësi $2 \cdot 10^8$ m/s.

Përcaktoni:

a) Sa është vonesa e sinjalit në fibrën optike krahasuar me përhapjen e tij në vakum?

b) Sa është konstanta dielektrike relative e materialit nga i cili është prodhuar fibra optike, nëse merret se permeabiliteti magnetik relativ është 1?

Të dhënat: $= 20 \text{ km} = 2,0 \cdot 10^4 \text{ m},$ $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s},$ $v = 2,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}, \mu_r = 1$	Zgjidhje: a) Koha e nevojshme që sinjali ta kalojë distancën në vakum është: $t_0 = \frac{L}{c} = 6,67 \cdot 10^{-5} \text{ s}.$ Koha e nevojshme që sinjali ta kalojë të njëjtën distancë në fibrën optike është: $t = \frac{L}{v} = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ s}.$ Vonesa e sinjalit në fibrën optike, krahasuar me përhapjen e tij në vakum, është: $\Delta t = t - t_0 = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ s}.$ b) Sipas relacionit të Maksvelit për shpejtësinë e valëve elektromagnetike:: $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}.$ Prej nga : $\epsilon_r = \frac{1}{\mu_r} \left(\frac{c}{v} \right)^2 = 2,25.$
Kërkohet: $\Delta t = ?$ $\epsilon_r = ?$	



MËSO MË SHUMË

Valët elektromagnetike mund të kenë frekuenca të ndryshme dhe, rrjedhimisht, edhe veti të ndryshme. Prandaj, dallojmë radiovalët, rrezatimin mikrovalor, rrezatimin infra të kuq, dritën e dukshme, rrezatimin ultravjollcë, rrezatimin rëntgen dhe rrezatimin gama. Të gjitha këto janë valë elektromagnetike, të cilat dallojnë ndërmjet tyre sipas frekuencës. Nëse i renditim të gjitha valët elektromagnetike sipas frekuencës, nga më e vogla tek më e madhja, fitojmë spektrin e rrezatimit elektromagnetik (figura 5).

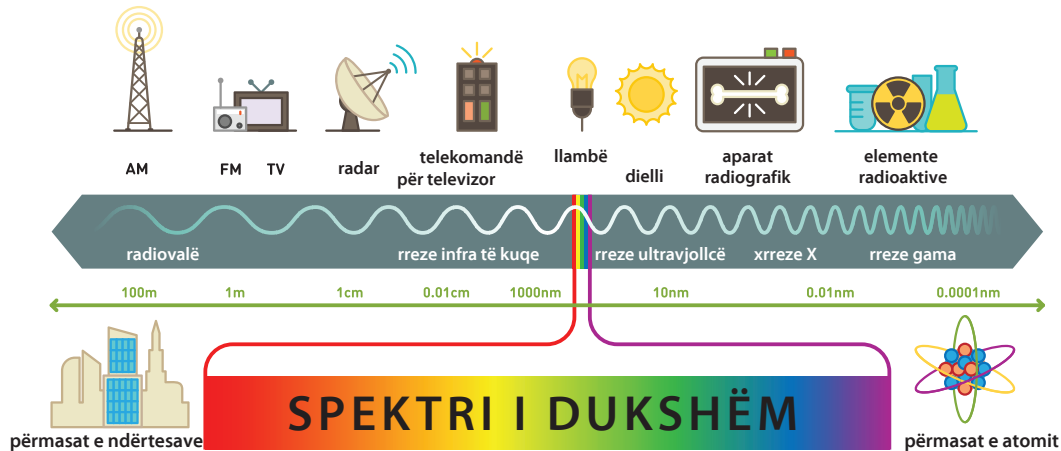


Figura 5. Spektri i valëve elektromagnetike dhe pajisjet në të cilat ato përdoren



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Pajisjet radio punojnë me frekuenca prej disa qindra megahercësh. Sa është gjatësia valore e valëve që ato përdorin?

zgjidhje: Meqenëse vlera e saktë e frekuencës së radios nuk është dhënë, do të marrim dy vlera për të eksploruar diapazonin. Si më të voglin nga vendet $f_1 = 100 \text{ MHz}$, dhe më të madhin nga vendet $f_2 = 300 \text{ MHz}$. Gjatësitë përkatëse të valëve janë:

$$\lambda_1 = 3 \text{ m} \quad \text{dhe} \quad \lambda_2 = 1 \text{ m}.$$

Mund të konkludojmë se valët e radios kanë një gjatësi vale prej disa metrash. Kjo është arsyeja pse marrësit në valë të tilla kanë një gjatësi të të njëjtit rend madhësie, më shpesh nga disa dhjetëra centimetra deri në disa metra.



PYETJE DHE DETYRA

1. Nëse rritet frekuenca e një vale elektromagnetike që përhapet në një mjedis të caktuar, çfarë ndodh me gjatësinë e saj valore?
2. Nëse valët elektromagnetike përhapen nëpër vakum, çfarë lëkundet në të vërtetë? Pse kjo nuk përbën problem për natyrën valore të dritës?
3. Dy valë elektromagnetike kanë frekuencë të njëjtë, por gjatësi valore të ndryshme. A është e mundur kjo në vakum? Shpjegoni pse.
4. Në cilat dukuri të jetës së përditshme mund të vëreni se drita bart energji?
5. Dy valë elektromagnetike përhapen në vakum. Cila prej tyre lëviz më shpejt: ajo me frekuencë më të madhe apo ajo me frekuencë më të vogël?
6. Drita me frekuencë $5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ përhapet në vakum. Sa është gjatësia e saj valore? (Zgjidhja: 600 nm)
7. Nëse antena e një radiomarrësi ka gjatësi rreth 75 cm, cili është rendi i madhësisë së gjatësisë valore në të cilën punon ai? (Zgjidhja: 1 m)

3.2. Pasqyrimi i dritës. Pasqyra e rrafshët

Rrezet e Diellit, të dukshme ndërmjet reve në figurën 1, tregojnë se drita përhapet në vijë të drejtë. Për të përshkruar vetitë e dritës, përdorim modelin e idealizuar të rrezes së dritës.

Rrezja e dritës është një vijë e drejtë e imagjinuar që tregon drejtimin e përhapjes së dritës. Disa rreze që dalin nga i njëjti burim dhe përhapen në të njëjtin drejtim dhe kahje formojnë një **tufë drite**.

Në kontekstin e natyrës së dyfishtë (duale) të dritës:

- Në rolin e grimcës, rrezja përshkruan trajektoren e grimcës;
- Në rolin e valës, rrezja tregon drejtimin e përhapjes së valës.

Në mësimet vijuese do të shqyrtojmë se si sillen rrezet e dritës kur ndryshon drejtimi i përhapjes së tyre, por fillimisht do të paraqesim nocionin tufë paralele rrezesh.

Një burim pikësor drite, si një yll i largët ose një llambë, emeton rreze drite në të gjitha drejtimet. Rrezja e dritës është një vijë e imagjinuar që tregon drejtimin e përhapjes së dritës prandaj nga një burim dalin rreze të panumërta në drejtime të ndryshme (figura 2). Me rritjen e largësisë nga burimi i dritës, drejtimet e rrezeve afrohen gjithnjë e më shumë me njëri-tjetrin, kështu që në një largësi mjaft të madhe ato duken paralele (figura 3). Në këtë rast thuhet se është formuar një tufë paralele rrezesh drite.

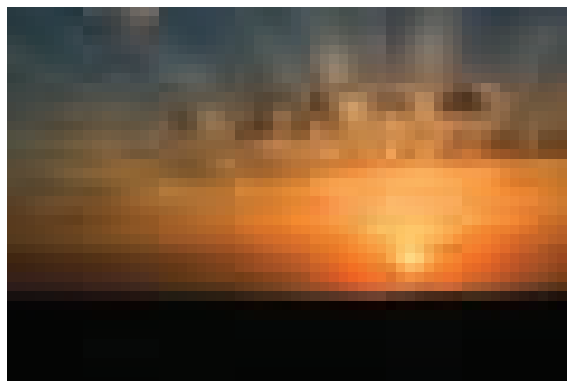


Figura 1. Rrezet e Diellit përhapen në vijë të drejtë

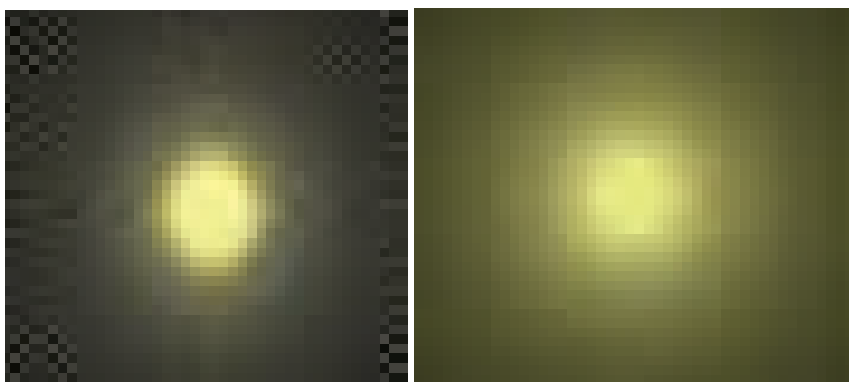


Figura 2. Burim pikësor drite që emeton rreze në të gjitha drejtimet. Majtas është paraqitur vetëm një pjesë e rrezeve ndërsa djathtas një paraqitje më e dendur dhe më e afërt me realitetin, sepse nga një burim emetohet një numër i pafund rrezesh.

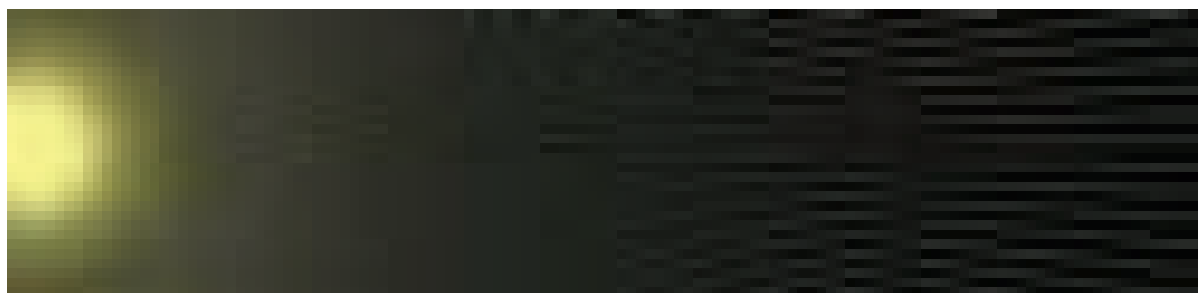


Figura 3. Rrezet e emetuara nga një burim që ndodhet në largësi të madhe janë pothuajse paralele

Në kushte reale, rrezet e Diellit mund të konsiderohen paralele kur bien mbi sipërfaqen e Tokës për shkak të largësisë së madhe ndërmjet Tokës dhe Diellit. Tufë paralele drite mund të përfitohen edhe me anë të laserit ose të pajisjeve optike që ndryshojnë drejtimin e përhapjes së dritës (figura 4).

Kur drita kalon nga një mjedis në një tjetër, ajo mund të pasqyrohet, të përthyeret në mjedisin e dytë ose të absorbohet. Këto dukuri ndonjëherë ndodhin njëkohësisht. Kthimi i dritës quhet pasqyrim (refleksion), dukuri të cilën do ta shqyrtojmë në këtë mësim. Falë pasqyrimit, objektet bëhen të dukshme (figura 5).



Figura 4. Tufë paralele rrezesh të pasqyruara nga disa laserë

Kur drita bie mbi një sipërfaqe të vrazhdë, rrezet e pasqyruara shpërndahen në drejtime të ndryshme, ndërsa drejtimi i pasqyrimit varet nga forma lokale e sipërfaqes. Ky lloj pasqyrimi quhet pasqyrim difuz. Në praktikë, pjesa më e madhe e sipërfaqeve të pasqyrojnë dritën në mënyrë difuze.

Ndryshe nga pasqyrimi difuz, te sipërfaqet e lëmuara një tufë rrezesh paralele mbetet paralele edhe pas pasqyrimit. Ky lloj pasqyrimi quhet pasqyrim i rregullt (paralel). Dallimi ndërmjet pasqyrimit difuz dhe atij të rregullt është paraqitur në figurën 6.

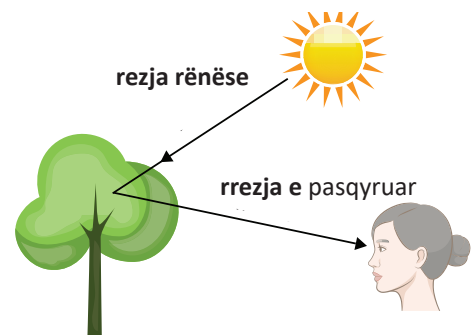


Figura 5. Rrezet e Diellit pasqyrohen nga pema dhe arrijnë te sytë e nxënësit, i cili e sheh pemën

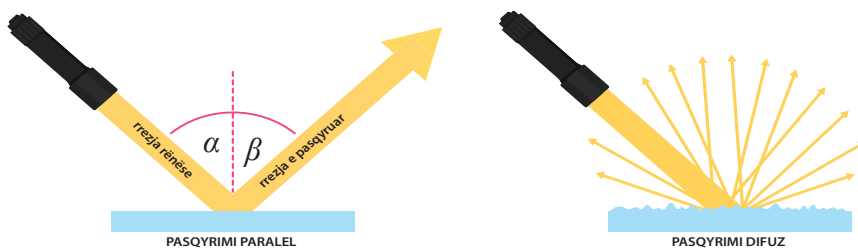


Figura 6. Pasqyrimi paralel (majtas) dhe ai difuz (djathtas) i dritës.

Një sipërfaqe e rrafshët dhe e lëmuar, nga e cila një tufë paralele rrezesh drite mbetet paralele edhe pas pasqyrimit, quhet pasqyrë e rrafshët. Pasqyrat e rrafshëta përdoren gjerësisht në jetën e përditshme: në shtëpi, si dhe te disa sipërfaqe prej qelqi, teknike dhe dekorative me veti pasqyruese (figura 7).



Figura 7. Shembëllimi në një pasqyrë të rrafshët

Për të përshkruar pasqyrimin e dritës nga një pasqyrë e rrafshët, mjafton të shqyrtohet sjellja e një rreze drite në pikën e rënies. Në këtë pikë ndërtohet normalja, një drejtëz pingule me sipërfaqen mbi të cilën bie rrezja. Rrezja e dritës që vjen nga burimi drejt pasqyrës quhet rrezje rënëse, ndërsa rrezja që ndryshon drejtimin e përhapjes pas pasqyrimit nga pasqyra quhet rrezje e pasqyruar ose rrezje e reflektuar (figura 8). Për orientim më të lehtë në figura, ana e pasme e sipërfaqes pasqyruese zakonisht paraqitet me hijezim.

Këndi që formon rrezja rënëse me normalen quhet këndi i rënies, ndërsa këndi që formon rrezja e pasqyruar me normalen quhet këndi i pasqyrimin.

Ligji i pasqyrimin



AKTIVITETI 1.

Pasqyrimi i dritës nga një pasqyrë e rrafshët

Qëllimi: Të përcaktohet varësia ndërmjet këndit të rënies dhe këndit të pasqyrimin gjatë pasqyrimin të dritës nga një pasqyrë e rrafshët.

Aparatura: burim drite me tufë lineare (ose

lazer), pasqyrë e rrafshët me skaj të poshtëm të drejtë, këndmatës, vizore, laps, fletë letre.

Procedura:

1. Në letër vizatohet një vijë e drejtë që e paraqet sipërfaqen e pasqyrës. Në një pikë të asaj vije ndërtohet normalja, domethënë një drejtëz e cila është pingul me sipërfaqen e pasqyrës.
2. Skaji i poshtëm i pasqyrës vendoset saktësisht përgjatë vijës që paraqet sipërfaqen. Rrezja e laserit drejtohet nën një kënd të caktuar ndaj normales, drejt pikës ku normalja pret sipërfaqen e pasqyrës.
3. Në fletën e letrës shënohen nga dy pika në rrezet rënëse dhe në rrezet e pasqyruar. Më pas, burimi fiket dhe me ndihmën e vizores, vizatohen rrezja rënëse dhe ajo e pasqyruar. Rrezet e matjeve të ndryshme shënohen, për shembull, me 1 dhe 1', 2 dhe 2' e kështu me radhë.
4. Procedura përsëritet për të paktën pesë vlera të ndryshme të këndit të rënies, i cili ndryshohet duke zhvendosur burimin.
5. Me këndmatës maten këndi i rënies α dhe këndi i pasqyrimin β .
6. Vlerat e matura shënohen në një tabelë me kolonat e mëposhtme:
6. Llogaritet raporti α / β për çdo matje dhe nxirret përfundimi në bazë të rezultateve.

N	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\frac{\alpha}{\beta}$
1			
2			
...			

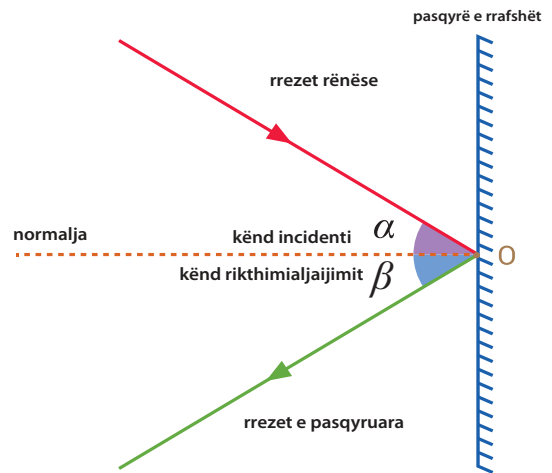


Figura 8. Pasqyrimi i rrezes së dritës te pasqyra e rrafshët me elementet e shënuara

Nga rezultatet e eksperimentit vërehet se raporti ndërmjet këndit të rënies dhe këndit të pasqyrimin, në të gjitha matjet është afërsisht i barabartë me 1. Kjo do të thotë se këndi i rënies dhe këndi i pasqyrimin kanë vlera të barabarta.

Kjo varësi njihet si Ligji i pasqyrimin të dritës dhe thotë: **këndi i rënies është i barabartë me këndin e pasqyrimin, ndërsa rrezja rënëse, normalja dhe rrezja e pasqyruar shtrihen në të njëjtin rrafsh.**

Ligji mund të shkruhet edhe në formë matematikore, duke përdorur shënimet e paraqitura në figurën 8:

$$\alpha = \beta .$$

Ligji i pasqyrimin përbën bazën për analizën e mëtejshme të pasqyrimin të dritës dhe mundëson përcaktimin e pozitës së shëmbëllimit të një objekti që ndodhet përpara një pasqyre të rrafshët.

Formimi i shëmbëllimeve në pasqyrën e rrafshët

Kur një objekt ndodhet përpara një pasqyre të rrafshët, rrezet e dritës që dalin ose pasqyrohen prej tij bien mbi sipërfaqen e pasqyrës dhe pasqyrohen sipas Ligjit të pasqyrimimit. Gjatë vështrimit në pasqyrë, objekti duket sikur ndodhet prapa sipërfaqes së saj megjithëse në të vërtetë nuk gjendet aty.

Në optikë, **shëmbëllim i një objekti** quhet pika ose bashkësia e pikave ku objekti duket sikur ndodhet pas pasqyrimimit ose përthyerjes së dritës nga një element optik.

Për shembull, mund të shqyrtojmë formimin e shëmbëllimit të një bime në një pasqyrë të rrafshët. Për thjeshtësim, do të shqyrtojmë dy pika karakteristike, për shembull majën dhe pikën më të ulët të bimës. Rrezet që dalin nga këto pika përhapen në të gjitha drejtimet, ku një pjesë e tyre bien mbi pasqyrë dhe pasqyrohen sipas Ligjit të pasqyrimimit (figura 9). Në skicë janë paraqitur vetëm disa rreze, megjithëse në të vërtetë numri i tyre është i pafund.

Pas pasqyrimimit nga pasqyra e rrafshët, rrezet e pasqyruara që dalin nga secila pikë e shqyrtuar e objektit vazhdojnë të largohen nga njëra-tjetra dhe nuk priten në hapësirën përpara pasqyrës. Megjithatë, nëse zgjatimet e rrezeve të pasqyruara tërhiqen prapa sipërfaqes së pasqyrës, ato priten në të njëjtën pikë për secilën pikë të objektit. Në këto pika ndodhen shëmbëllimet e pikave përkatëse të objektit. Me bashkimin e tyre formohet shëmbëllimi i objektit.

Meqenëse shëmbëllimi formohet nga zgjatimet e rrezeve të pasqyruara, ai ndodhet prapa pasqyrës dhe nuk mund të projektohet në ekran, prandaj quhet **shëmbëllim virtual**.

Nga gjeometria e rrezeve mund të vërehet se largësia e objektit nga pasqyra është e barabartë me largësinë e shëmbëllimit nga pasqyra. **Për pasqyrën e rrafshët vlen barazimi:**

$$p = l,$$

ku me p shënohet largësia e objektit nga pasqyra, ndërsa me l shënohet largësia e shëmbëllimit nga pasqyra. Gjithashtu, mund të vërehet se orientimi i shëmbëllimit është i njëjtë me orientimin e objektit, përkatësisht shëmbëllimi është i drejtë.



Figura 10. Simetria pasqyrore në pasqyrën e rrafshët

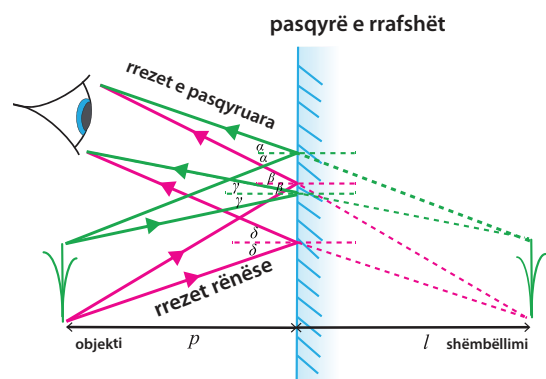


Figura 9. Paraqitje skematike e formimit të shëmbëllimit të një objekti në pasqyrë të rrafshët

Te pasqyra e rrafshët, ana e majtë e objektit në shëmbëllim paraqitet si ana e djathtë, ndërsa ana e djathtë si e majta. Kjo veti quhet simetri pasqyrore. Për këtë arsye, shëmbëllimi në pasqyrën e rrafshët është simetrik me objektin kundrejt sipërfaqes së pasqyrës (figura 10).

Shëmbëllimi që formohet në pasqyrën e rrafshët ka këto tri karakteristika themelore:

Madhësia: shëmbëllimi ka të njëjtën madhësi si objekti.

Orientimi: shëmbëllimi është i drejtë.

Lloji i shëmbëllimit: shëmbëllimi është virtual.

**SHENBULL I ZGJIDHUR 1.**

Një laps me gjatësi 15 cm është vendosur para një pasqyre në largësi 0,5 m nga pasqyra. Të përcaktohet se në çfarë largësie do të jetë shëmbëllimi, të përcaktohen edhe karakteristikat e tij dhe të vizatohet skica e objektit, e pasqyrës dhe e shëmbëllimit me rrezet karakteristike.

Të dhënat:

$$h_p = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$p = 0,5 \text{ m}$$

Zgjidhje:

Sipas barazimit të pasqyrës së rrafshët, objekti do të ndodhet në këtë largësi nga pasqyra:

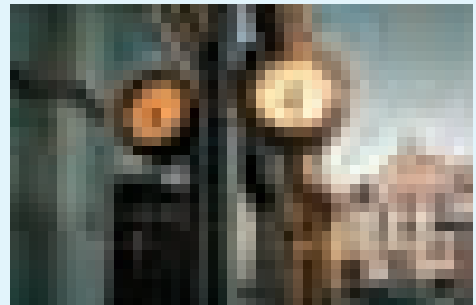
$$p = l$$

$$l = 0,5 \text{ m}.$$

Shëmbëllimi do të ketë të njëjtën madhësi si objekti, do të jetë i drejtë, simetrik ndaj objektit dhe virtual.

**PYETJE DHE DETYRA**

1. Pse shëmbëllimi në pasqyrën e rrafshët është gjithmonë virtual? Shpjegoni duke u bazuar në sjelljen e rrezeve.
2. Si do të duket shëmbëllimi nëse pasqyra është shumë e vogël? Çfarë do të ndryshojë dhe çfarë do të mbetet e pandryshuar?
3. Dy objekte ndodhen në largësi të ndryshme nga një pasqyrë e rrafshët. A mund të mbivendosen shëmbëllimet e tyre? Në çfarë kushtesh?
4. Nëse shikoni shëmbëllimin e një ore analoge në pasqyrë, si në figurën më poshtë, në cilën kahje rrotullohen akrepat?
5. Një tufë rrezesh lazer bie mbi një pasqyrë të rrafshët me kënd 30° ndaj normales. Më pas, pasqyra rrotullohet për një kënd θ , ndërsa kahja e rrezes rënëse mbetet e pandryshuar. Si ndryshon këndi i pasqyrimin pas rrotullimit të pasqyrës? Shprehni këndin e pasqyrimin si funksion të θ . (Zgjidhja: 2θ)
6. Objekti është vendosur 1,5 m larg një pasqyre të rrafshët.
 - a) Sa është largësia ndërmjet objektit dhe shëmbëllimit të tij?
 - b) Nëse objektin e afrojmë për 0,3 m drejt pasqyrës, sa do të jetë largësia ndërmjet objektit dhe shëmbëllimit? (Zgjidhja: 3m; 2,4m)



3.3. Pasqyrat sferike

Në mësimin e mëparshëm shqyrtuam se si rrezet e dritës pasqyrohen nga një pasqyrë e rrafshët sipas Ligjit të pasqyrimin dhe si përcaktohet pozita e shëmbëllimit me ndihmën e rrezeve të pasqyruara.

Tani le të shqyrtojmë rastin kur një tufë paralele rrezesh drite pasqyrohet nga disa pasqyra të vogla të rrafshëta, të paraqitura në figurën 1a. Edhe pse në skicë janë paraqitur vetëm disa rreze, në të vërtetë numri i tyre është i pafund. Ligji i pasqyrimin vlen për secilën pasqyrë, por meqenëse ato janë vendosur me kënde të ndryshme, rrezet e pasqyruara drejtohen në drejtime të ndryshme. Kjo dukuri quhet pasqyrim difuz.

Nëse pasqyrat e vogla të rrafshëta vendosen në mënyrë që të shtrihen përgjatë tangjenteve të një rrethi (figurat 1b dhe 1c), me rritjen e numrit të tyre dhe zvogëlimin e përmasave, sipërfaqja e tyre e përbashkët i

ngjan gjithnjë e më shumë një sipërfaqeje të lëmuar e të lakuar. Në rastin kufitar, kur numri i pasqyrave bëhet shumë i madh dhe përmasat e tyre shumë të vogla, fitohet një sipërfaqe e lakuar dhe e vazhdueshme.

Meqenëse shqyrtimin e bëjmë në rrafsh, në figura paraqiten pjesë të rrathëve. Në hapësirë, një sipërfaqe e tillë e lakuar përbën një pjesë të sferës. Pasqyra, sipërfaqja e së cilës është pjesë e një sfere, quhet **pasqyrë sferike**.

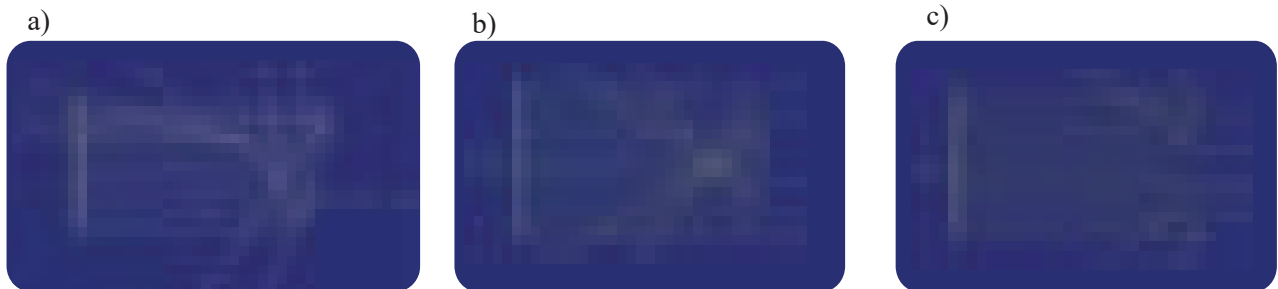


Figura 1. Tufë paralele rrezesh të pasqyruar nga disa pasqyra të vogla të rrafshëta, të vendosura në konfigurime të ndryshme: a) të vendosura rastësisht; b) dhe c) të renditura përgjatë tangjenteve të një rrethi

Në varësi të anës së sipërfaqes sferike që e pasqyron dritën, pasqyrat sferike mund të jenë të mysëta (konvekse) ose të lugëta (konkave). Nëse sipërfaqja pasqyruese ndodhet në anën e jashtme të sferës, pasqyra është e mysët, ndërsa nëse ndodhet në anën e brendshme, ajo është e lugët. Natyrisht, e njëjta pjesë e sferës mund të ketë sipërfaqe pasqyruese në të dyja anët. Shembull i tillë janë lugët e zakonshme metalike të kuzhinës (figura 2).

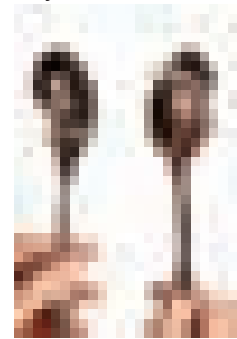


Figura 2. Pasqyrimi në të dyja anët e lugës

Elementet kryesore të pasqyrave sferike

Për të përshkruar formimin e shëmbëllimeve të pasqyrat sferike, fillimisht le të paraqesim elementet e tyre kryesore. Të kujtojmë nga matematika: normalja ndaj një rrethi ose një sfere, në çdo pikë, kalon gjithmonë nëpër qendrën e saj.

Qendra e lakimit C është qendra e sferës, një pjesë e së cilës përbën pasqyrën.

Rrezja e lakimit R është largësia nga qendra e lakimit deri te sipërfaqja e pasqyrës, përkatësisht rrezja e sferës nga e cila është formuar pasqyra.

Kulmi T është pika “më e dalë” e sipërfaqes së pasqyrës së mysët, përkatësisht pika “më e thellë” e sipërfaqes së pasqyrës së lugët..

Boshti kryesor optik është drejtëza që kalon nëpër kulmin e pasqyrës dhe nëpër qendrën e lakimit.

Të gjitha elementet e pasqyrave sferike janë paraqitur në figurën 3.

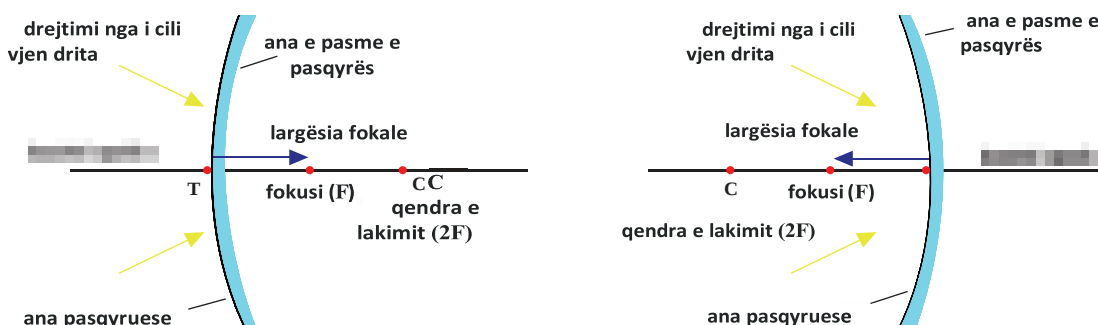


Figura 3. Elementet kryesore të pasqyrave sferike: boshti kryesor optik, C – qendra e lakimit, F – fokusi dhe T – kulmi

Pasqyrimi i dritës te pasqyrat sferike

Për të përcaktuar pozitën e shëmbëllimit te pasqyrat sferike, mjafton të zbatohet Ligji i pasqyrimin. Le të shqyrtojmë një tufë paralele rrezesh drite që bie mbi një pasqyrë sferike të lugët. Tufa e rrezeve është paralele edhe me boshtin kryesor optik (figura 4, majtas). Mund të vërejmë se pas pasqyrimin të gjitha rrezet priten në një pikë që ndodhet përpara pasqyrës. Të njëjtën procedurë mund ta përsëritim edhe te pasqyra e mysët. Këtë herë, pas pasqyrimin nga pasqyra, rrezet shpërndahen në drejtime të ndryshme. Mirëpo, nëse shqyrtojmë zgjatimet e rrezeve të pasqyruara, ato priten në një pikë, përkatësisht duket sikur dalin nga një pikë prapa sipërfaqes pasqyruese (figura 4, djathtas).

Pika ku priten rrezet e pasqyruara të një tufe drite që bie mbi një pasqyrë të lugët, paralelisht me boshtin kryesor optik, ose pika ku priten zgjatimet e rrezeve të pasqyruara te pasqyra e mysët, quhet **fokusi i pasqyrës sferike**.

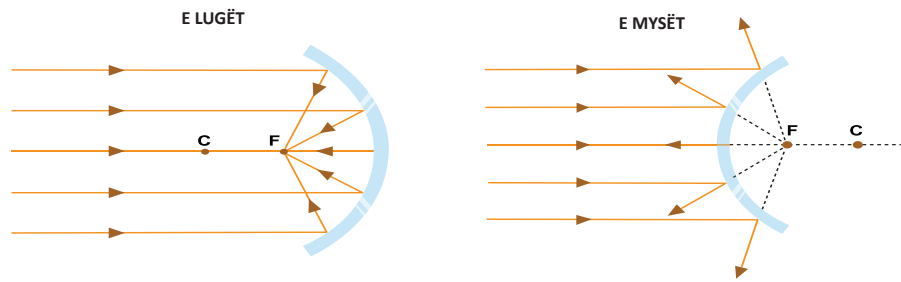


Figura 4. Pasqyrimi i një tufe paralele rrezesh nga një pasqyrë e lugët (majtas) dhe nga një pasqyrë e mysët (djathtas)

Fokusi i pasqyrës së lugët është real, ndërsa fokusi i pasqyrës së mysët është virtual. Largësia nga fokusi deri te pasqyra quhet **largësi fokale**. Mbani mend: fokusi është pikë dhe shënohet me shkronjën e madhe F (figura 3), ndërsa largësia fokale është largësi dhe shënohet me shkronjën e vogël f .

Te pasqyrat sferike, largësia fokale është sa gjysma e rrezes së lakimit. Prandaj vlen:

$$f = \frac{R}{2}.$$

Për të përcaktuar pozitën dhe karakteristikat e shëmbëllimit që formohet nga një pasqyrë sferike, përdoren dy nga tri **rrezet karakteristike** në vijim (figura 5):

Rrezja 1

- Te pasqyra e lugët: rrezja që kalon nëpër fokus, pas pasqyrimin vazhdon paralelisht me boshtin kryesor optik.
- Te pasqyra e mysët: rrezja që bie në drejtim të fokusit virtual, pas pasqyrimin vazhdon paralelisht me boshtin kryesor optik.

Rrezja 2

- Te pasqyra e lugët: rrezja që kalon nëpër fokus, pas pasqyrimin vazhdon paralelisht me boshtin kryesor optik.
- Te pasqyra e mysët: rrezja që bie në drejtim të fokusit virtual, pas pasqyrimin vazhdon paralelisht me boshtin kryesor optik.

Rrezja 3

- Te të dyja pasqyrat: rrezja që bie në drejtim të qendrës së lakimit pasqyrohet përgjatë së njëjtës drejtëz.

Këto rreze karakteristike rrjedhin nga Ligji i pasqyrimin të dritës. Te pasqyra sferike e mysët, rrezet e pasqyruara shpërndahen. Prandaj, gjatë konstruktimit të shëmbëllimit përdoren zgjatimet e rrezeve të pasqyruara, të cilat priten prapa pasqyrës.

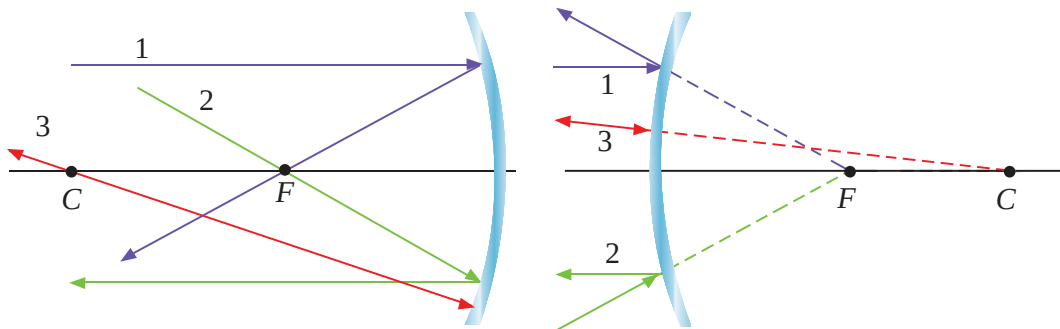


Figura 5. Rrezet karakteristike të pasqyrat sferike: pasqyra e lugët (majtas) dhe pasqyra e mysët (djathtas)

Konstruktimi i shëmbëllimit të pasqyrat sferike

Me ndihmën e rrezeve karakteristike do të konstruktojmë shëmbëllimin e një objekti të pasqyrat sferike. Objektin e paraqesim me një shigjetë pingule ndaj boshtit optik.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Të konstruktohet shëmbëllimi i objektit të paraqitur me shigjetë, i cili ndodhet përpara një pasqyre sferike të lugët, ndërmjet fokusit F dhe qendrës së lakimit C .

Zgjidhje:

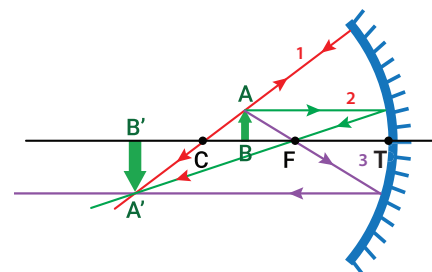
Fillimisht vizatohen boshti kryesor optik dhe pasqyra, si dhe shënohen kulmi T , fokusi F dhe qendra e lakimit C . Objekti paraqitet me një shigjetë pingule me boshtin optik, të vendosur ndërmjet pikave F dhe C . Shëmbëllimi i majës A të shigjetës ndërtohet me anë të dy rrezeve karakteristike:

- rrezja paralele me boshtin kryesor optik e cila pas pasqyrimit kalon nëpër fokus (2);
- rrezja që kalon nëpër fokus, pas pasqyrimit përhapet paralelisht me boshtin kryesor optik (3).

Prerja e rrezeve të pasqyruara përcakton pikën A' . Meqenëse pika B ndodhet në boshtin optik, edhe shëmbëllimi i saj B' ndodhet në boshtin optik. Duke i lidhur pikat A' dhe B' fitohet shëmbëllimi $A'B'$.

Nga ndërtimi i kryer shihet se shëmbëllimi formohet përpara pasqyrës, në të njëjtën anë ku ndodhet edhe objekti, me ç'rast:

- ndodhet më larg se qendra e lakimit;
- është i përmbysur në raport me objektin;
- është më i madh se objekti.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Të konstruktohet shëmbëllimi i objektit të paraqitur me shigjetë, i cili ndodhet përpara një pasqyre sferike të mysët.

Zgjidhje:

Fillimisht vizatohet boshti kryesor optik dhe shënohen kulmi T , fokusi F dhe qendra e lakimit C , të cilat të pasqyra e mysët ndodhen prapa pasqyrës. Objekti paraqitet me një shigjetë pingule ndaj boshtit kryesor optik, me bazën e saj mbi bosht.

Shëmbëllimi i majës B të shigjetës konstruktohet me dy rreze karakteristike:

- rrezja paralele me boshtin kryesor optik (2), e cila pas pasqyrimit shpërndalet, ndërsa zgjatimi i saj prapa pasqyrës kalon nëpër fokus;

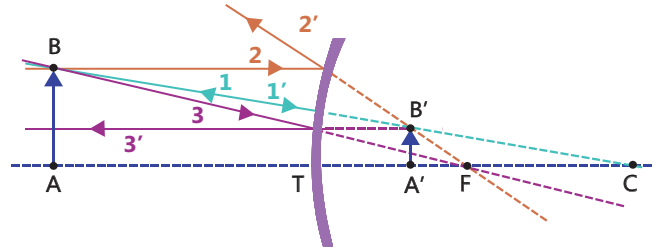
- rrezja e drejtuar kah fokusi (3), e cila pas pasqyrimit përhapet paralelisht me boshtin kryesor optik.

Meqenëse rrezet e pasqyruara nuk priten përpara pasqyrës, zgjatimet e tyre tërhiqen prapa saj. Pika e prerjes së këtyre zgjatimeve përcakton pozitën e shëmbëllimit B' . Sipas nevojës, konstruktimi mund të kontrollohet me rrezen e tretë karakteristike, të drejtuar nga qendra e lakimit.

Në figurë janë paraqitur të tria rrezet karakteristike.

Nga konstruktimi i përfutur shihet se shëmbëllimi formohet prapa pasqyrës dhe:

- ndodhet ndërmjet kulmit dhe fokusit;
- është i drejtë në raport me objektin;
- është më i vogël se objekti.



Gjatë konstruktimit të shëmbëllimeve me pasqyra sferike, në disa raste priten rrezet e pasqyruara, ndërsa në raste të tjera priten vetëm zgjatimet e tyre prapa pasqyrës. Ky dallim ka rëndësi fizike, sepse prej tij varet nëse shëmbëllimi mund të projektohet në ekran. Prandaj, dallojmë shëmbëllimin real dhe shëmbëllimin virtual. Shëmbëllimi real formohet në pikën e prerjes së rrezeve të pasqyruara dhe mund të projektohet në ekran, ndërsa shëmbëllimi virtual formohet në pikën e prerjes së zgjatimeve të tyre prapa pasqyrës dhe nuk mund të projektohet në ekran.

Për përshkrimin e plotë të shëmbëllimit shqyrtojmë këto karakteristika:

- nëse shëmbëllimi është real ose virtual;
- pozitën e tij në raport me pasqyrën, fokusin dhe qendrën e lakimit;
- madhësinë në krahasim me objektin;
- orientimin (i drejtë ose i përmbysur).



AKTIVITETI 1.

Konstrukto shëmbëllimet e një objekti të vendosur përpara një pasqyre sferike të lugët dhe të një objekti të vendosur përpara një pasqyre sferike të mysët. Përcakto karakteristikat e shëmbëllimeve kur objekti ndodhet:

- a) përtej qendrës së lakimit;
- b) në qendrën e lakimit;
- c) në fokusin e pasqyrës;
- d) ndërmjet fokusit dhe kulmit të pasqyrës.

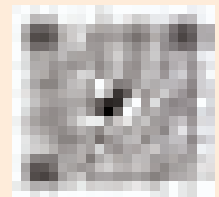
Për të kontrolluar rezultatet e fituara me konstruktim gjeometrik, përdor simulimin ndërveprues Optika gjeometrike (Geometric Optics) nga platforma PhET.

Simulimi është i qasshëm në lidhjen e mëposhtme:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Udhëzim për përdorimin e simulimit

1. Pas hapjes së simulimit, zgjidh regjimin e punës Pasqyra (Mirror).
2. Nga opsionet e ofruara, zgjidh Pasqyrë e lugët (Concave Mirror) ose Pasqyrë e mysët (Convex Mirror).
3. Aktivizo opsionin përkatës për shfaqjen e:



- a) Fokusi,
 - b) Shëmbëllimi (Virtual image),
 - c) Rrezet e dritës (Rays > Principal).
4. Objekti mund të jetë shigjetë ose forma të tjera. Me anë të mausit, zhvendose objektin përgjatë boshtit optik dhe vëzhgo se si ndryshojnë:
- a) pozita e shëmbëllimit;
 - b) madhësia e tij;
 - c) orientimi;
 - d) nëse shëmbëllimi është real ose virtual.
- Kontrollo konstruktivet që realizove në fillim të këtij aktiviteti.

Në bazë të konstruksioneve që shqyrtuam në shembuj dhe në Aktiviteti 1, mund t'i sistemojmë karakteristikat e shëmbëllimeve të formuara nga pasqyrat sferike. Në tabelën 1 janë paraqitur karakteristikat kryesore të shëmbëllimit për pozita të ndryshme të objektit dhe për të dyja llojet e pasqyrave sferike.

Tabela 1. Karakteristikat e shëmbëllimit të pasqyrat sferike

Lloji i pasqyrës	Pozita e objektit	Lloji i shëmbëllimit	Pozita e shëmbëllimit	Madhësia e shëmbëllimit	Orientimi
E lugët	Përtej fokusit F	Çdo pozitë	Përpara pasqyrës	Më i vogël ose më i madh *	I përmbysur
E lugët	Në fokus F	—	Nuk formohet shëmbëllim	—	—
E lugët	Ndërmjet F dhe T	Virtual	Prapa pasqyrës	Më i madh	I drejtë
E mysët	Çdo pozitë	Virtual	Prapa pasqyrës	Më i vogël	I drejtë

*Madhësia varet nga pozita e objektit në raport me qendrën e lakimit.

Barazimi i pasqyrës sferike

Deri tani, pozitën dhe vetitë e shëmbëllimit i kemi përcaktuar me konstruktiv gjeometrik, duke përdorur rrezet karakteristike. Edhe pse kjo metodë jep një paraqitje të qartë të shëmbëllimit, në shumë situata praktike është më e përshtatshme që pozita dhe madhësia e tij të përcaktohen me llogaritje, veçanërisht largësia e shëmbëllimit nga pasqyra.

Me anë të eksperimenteve është vërtetuar se ndërmjet largësisë së objektit nga pasqyra p , largësisë së shëmbëllimit nga pasqyra l dhe largësisë fokale f ekziston lidhja e mëposhtme:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l}.$$

Ky barazim, i quajtur **barazimi i pasqyrës sferike**, vlen për të gjitha pasqyrat sferike.

Te pasqyra e lugët, largësia fokale është pozitive, ndërsa te pasqyra e mysët fokusi është virtual dhe largësia fokale merret negative. Largësia e shëmbëllimit l merret pozitive nëse shëmbëllimi formohet përpara pasqyrës (shëmbëllim real), ndërsa negative nëse formohet prapa pasqyrës (shëmbëllim virtual).

Përveç pozitës së shëmbëllimit, karakteristikë e rëndësishme është edhe madhësia e tij në krahasim me objektin. Raporti që tregon sa herë shëmbëllimi është zmadhuar ose zvogëluar në krahasim me objektin quhet **zmadhim**.

Zmadhimi i pasqyrës U përkufizohet si raporti ndërmjet lartësisë së shëmbëllimit h_l dhe lartësisë së objektit h_p :

$$U = \frac{h_l}{h_p}.$$

Te pasqyrat sferike, zmadhimi mund të shprehet edhe nëpërmjet raportit ndërmjet largësisë së shëmbëllimit dhe largësisë së objektit nga pasqyra:

$$U = \frac{|l|}{p},$$

ku p është largësia e objektit nga pasqyra, ndërsa l është largësia e shëmbëllimit nga pasqyra.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Një objekt me lartësi 2 cm është vendosur në largësi 12 cm nga një pasqyrë sferike e lugët me largësi fokale 6 cm. Të përcaktohen:

- largësia e shëmbëllimit nga pasqyra l .
- zmadhimi U .
- madhësia dhe orientimi i shëmbëllimit.

Të dhënat:	Zgjidhje:
$f = 6 \text{ cm},$	a) Largësia e shëmbëllimit përcaktohet me barazimin e pasqyrës sferike: $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l}$
$p = 12 \text{ cm},$	Nga ky barazim, për largësinë e shëmbëllimit l fitojmë: $\frac{1}{l} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p},$
$h = 2 \text{ cm}.$	përkatesisht $l = \frac{fp}{p-f} = 12 \text{ cm}.$
	b) Zmadhimi i shëmbëllimit përcaktohet me: $U = \frac{l}{p} = \frac{12 \text{ cm}}{12 \text{ cm}} = 1.$
	c) Lartësia e shëmbëllimit është: $h_l = Uh_p = 2 \text{ cm}.$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Një objekt me lartësi 3 cm është vendosur në largësi 24 cm nga një pasqyrë sferike e mysët. Zmadhimi i shëmbëllimit është: 0,4. Të përcaktohen:

- largësia e shëmbëllimit nga pasqyra;
- largësia fokale;
- lartësia e shëmbëllimit.

Të dhënat:	Zgjidhje:
$h_p = 3 \text{ cm},$	a) Zmadhimi te pasqyrat sferike është dhënë me: $U = \frac{ l }{p}.$
$p = 24 \text{ cm},$	Nga kjo rrjedh: $ l = U \cdot p,$
$U = 0,40$	$ l = 0,4 \cdot 24 \text{ cm} = 9,6 \text{ cm}.$
	Por, meqenëse te pasqyra e mysët shëmbëllimi është virtual dhe formohet prapa pasqyrës, largësia e shëmbëllimit është negative, prandaj: $l = -9,6 \text{ cm}.$
Kërkohet:	b) Ekuacioni për pasqyrën sferike është: $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l},$
$l = ?$	përkatesisht: $f = \frac{pl}{p+l} = -16 \text{ cm}.$
$f = ?$	c) Zmadhimi i definuar si raport i lartësive: $U = \frac{h_l}{h_p},$
$h_l = ?$	prej nga rrjedh: $h_l = Uh_p = 1,2 \text{ cm}.$
	Shëmbëllimi ndodhet në largësi 9,6 cm nga pasqyra, ka lartësi 1,2 cm dhe është më i vogël se objekti. Vlera negative e largësisë fokale vërteton se pasqyra është e mysët, ndërsa shëmbëllimi është virtual dhe formohet prapa pasqyrës.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Pasqyrat sferike përdoren në jetën e përditshme shumë më shpesh sesa mund të duket në shikim të parë. Shembull tipik janë pasqyrat kozmetike, të cilat nga njëra anë janë të rrafshëta, ndërsa nga ana tjetër kanë një pasqyrë sferike të lugët. Kur fytyra ndodhet pranë një pasqyre të tillë, formohet një shëmbëllim i drejtë, i zmadhuar dhe virtual, gjë që është veçanërisht e dobishme gjatë grimit ose rrujtjes (figura 6).

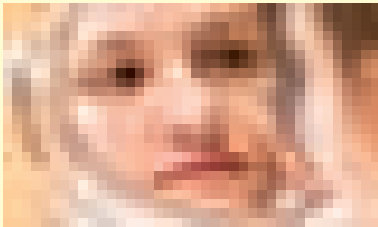


Figura 6. Shëmbëllimi në pasqyrën kozmetike

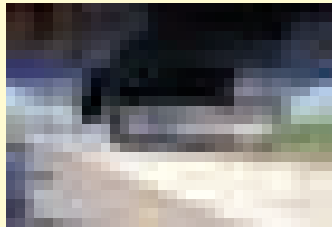


Figura 7. Pamja në retrovizor

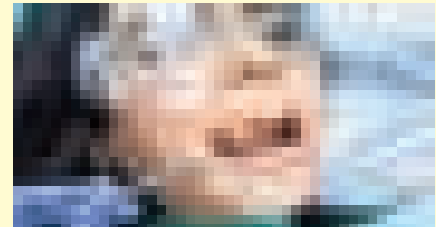


Figura 8. Pasqyra e lugët e dentistit

Pasqyrat sferike të mysëta përdoren te retrovizorët e automjeteve, ku qëllimi kryesor është përfundi i një fushe më të gjerë shikimi. Edhe pse shëmbëllimi në këto pasqyra është i zvogëluar dhe virtual, drejtuesi i automjetit mund të vërejë më shumë objekte prapa tij, gjë që rrit sigurinë në komunikacion (figura 7).

Në mjekësi, dentistët përdorin pasqyra të vogla të lugëta për të përfunduar shëmbëllim të zmadhuar të sipërfaqeve të dhëmbëve që arrihen me vështirësi (figura 8).

Pasqyra të ndryshme sferike hasen edhe në parqet argëtuese, në të ashtuquajturat “dhoma me pasqyra magjike”, ku krijohen qëllimisht shëmbëllime të deformuara për efekt pamor dhe argëtim (figura 9).

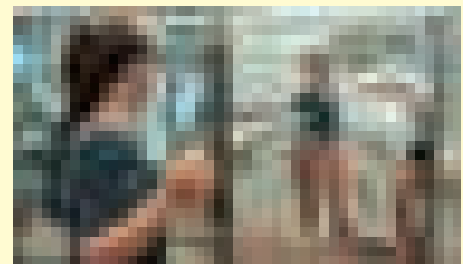


Figura 9. Shëmbëllim i deformuar në një “dhomë me pasqyra magjike”



PYETJE DHE DETYRA

1. Sa është rrezja e lakimit e një pasqyre të rrafshët? Sa është largësia e saj fokale? Shpjego.
2. Mban një lugë gjelle të shndritshme me krahun e shtrirë dhe shikon anën e pasme të saj. A është shëmbëllimi që sheh i drejtë apo i përmbysur? A është i zmadhuar apo i zvogëluar? A është real apo virtual?
3. Një objekt ndodhet në largësi 30 cm nga një pasqyrë sferike e lugët me largësi fokale 15 cm. Përcakto largësinë e shëmbëllimit nga pasqyra dhe nëse ai është real apo virtual. (Zgjidhja: 30 cm, shëmbëllimi është real)
4. Një objekt me lartësi 4 cm ndodhet në largësi 20 cm nga një pasqyrë e mysët me largësi fokale -10 cm.
 - a) Përcakto largësinë e shëmbëllimit nga pasqyra
 - b) Përcakto lartësinë e shëmbëllimit.
5. Çfarë shëmbëllimi formohet sipas llojit, madhësisë dhe orientimit? (Zgjidhja: 6,67 cm; 1,33 cm; shëmbëllimi është virtual, i zvogëluar dhe i drejtë.)
6. Një objekt i afrohet një pasqyre të lugët, duke lëvizur nga një pozitë përtej qendrës së lakimit drejt kulmit. Përshkruaj si ndryshojnë pozita, madhësia dhe lloji i shëmbëllimit.
6. Është dhënë një pasqyrë sferike, largësia fokale e së cilës, sipas vlerës absolute, është dy herë më e vogël se largësia e objektit nga pasqyra.
 - a) Shprehe zmadhimin nëpërmjet raportit p/f .
 - b) Shqyrto veçmas rastin e pasqyrës së lugët dhe atë të pasqyrës së mysët..
 - c) A është e mundur që zmadhimi të ketë të njëjtën vlerë absolute në të dyja rastet?

3.4. Përthyerja e dritës

Kur drita e Diellit bie mbi ujë të pastër, mund ta shohim fundin, por nëse uji është i turbullt, drita kalon me vështirësi nëpër të dhe fundi nuk është i dukshëm.

Mjediset nëpër të cilat mund të përhapet drita quhen mjedise të tejdukshme ose transparente. Në të kundërt, mjediset që nuk e lejojnë dritën të kalojë, por e thithin ose e pasqyrojnë atë, quhen mjedise të patejdukshme ose jotransparente. Shumë materiale nuk janë as plotësisht të tejdukshme dhe as plotësisht të patejdukshme. Ato zakonisht lejojnë të kalojë vetëm një pjesë të dritës rënëse. Sasia e dritës që kalon nëpër një mjedis përshkruhet me tejdukshmërinë ose përshkueshmërinë e tij ndaj dritës (T), e cila përkufizohet si raporti ndërmjet intensitetit të dritës së transmetuar (I) dhe intensitetit të dritës rënëse (I_0):

$$T = \frac{I}{I_0}.$$

Për një mjedis plotësisht transparent, ky raport është 1, ndërsa për një mjedis që nuk e lejon dritën të kalojë, raporti është 0. Mjedisi me tejdukshmëri të caktuar ndaj dritës, në të cilin do të shqyrtojmë përhapjen e saj, quhet **mjedis optik**.

Një dukuri interesante vërehet kur drita kalon nga një mjedis i tejdukshëm në një tjetër. Gjatë studimit të valëve pamë se, gjatë kalimit nga një mjedis në tjetrin, ndryshon shpejtësia e përhapjes së valës. E njëjta gjë vlen edhe për dritën. Ajri, qelqi, uji dhe diamanti janë shembuj të **mjediseve të tejdukshme** nëpër të cilat mund të përhapet drita.

Kur drita kalon nga një mjedis i tejdukshëm në një tjetër, shpejtësia e përhapjes së saj ndryshon. Si pasojë e këtij ndryshimi të shpejtësisë, drita ndryshon edhe drejtimin e përhapjes, me ç'rast shfaqet dukuria e **përthyerjes (refraksionit) të dritës**. Sa herë është më e vogël shpejtësia e dritës në një mjedis krahasuar me shpejtësinë e saj në vakum, përshkruhet me madhësinë fizike të quajtur **indeks absolut i përthyerjes**. Indeksi absolut i përthyerjes përkufizohet si raporti ndërmjet shpejtësisë së dritës në vakum dhe shpejtësisë së saj në mjedisin e dhënë:

$$n = \frac{c}{v}.$$

Disa vlera të indeksit absolut të përthyerjes (të cilin në tekstin e mëtejshëm do ta quajmë vetëm indeks të përthyerjes) janë paraqitur në tabelën 1.

Siç është paraqitur në figurën 1, rrezet e dritës që dalin nga lapsi i zhytur në ujë, gjatë kalimit nga uji në ajër, përthyhen dhe ndryshojnë drejtimin e përhapjes. Për shkak të këtij ndryshimi, zgjatimet e rrezeve të përthyerja në ajër krijojnë përshtypjen sikur lapsi është “thyer” ose zhvendosur në sipërfaqen ndarëse ndërmjet ujit dhe ajrit.

Për të shqyrtuar varësinë ndërmjet këndit të rënies dhe këndit të përthyerjes gjatë kalimit të dritës nga një mjedis në tjetrin, do të analizojmë një eksperiment, por fillimisht do të përkufizojmë disa nocione. Rrezja e dritës që bie mbi sipërfaqen ndarëse ndërmjet dy mjediseve të tejdukshme quhet **rreze rënëse**. Rrezja e dritës që, pasi kalon nëpër sipërfaqen ndarëse, vazhdon të përhapet në mjedisin e dytë quhet **rreze e përthyer**. Këndi ndërmjet rrezes rënëse dhe normales ndaj sipërfaqes ndarëse, të tërhequr në pikën e rënies, quhet këndi i rënies, ndërsa këndi ndërmjet rrezes së përthyer dhe normales quhet **këndi i përthyerjes**.

Tabela 1. Indeksi i përthyerjes i disa materialeve

Materiali	Indeksi i përthyerjes
ajri	1,003
uji	1,33
qelqi	1,5
Diamanti	2,4

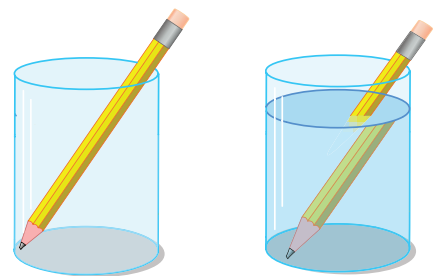


Figura 1. Efekti i përthyerjes së dritës gjatë kalimit nga uji në ajër



AKTIVITETI 1.

Të shqyrtohet varësia e këndit të përthyerjes β nga këndi i rënies α gjatë kalimit të dritës nga ajri në ujë.

Pajisjet: lazer, enë e tejdukshme me faqe të rrafshëta (akuarium ose kuti e tejdukshme), këndmatës rrethor (ose dy këndmatës të zakonshëm), ujë, pak substancë “turbulluese” (për shembull, një pikë qumësht ose pak detergjent), shirit ngjitës dhe fletë letre ose bazament.

Vërejtje: Substanca “turbulluese” shërben vetëm për ta bërë të dukshme rrezën e dritës në ujë. Uji duhet të mbetet pothuajse i tejdukshëm.

Procedura:

- Mbush enën me ujë deri në rreth 2/3 e saj. Shto një sasi shumë të vogël të substancës “turbulluese” dhe përzieje ngadalë. Kujdes që në sipërfaqen e ujit të mos ketë fluska.
- Fiksoje këndmatësin rrethor në anën e jashtme të enës me shirit ngjitës, në mënyrë që:
- qendra e këndmatësit të jetë në nivelin e pikës ku tufa e lazerit do të bjerë mbi sipërfaqen e ujit;
- vija horizontale ($0^\circ - 180^\circ$) të përputhet me sipërfaqen e ujit;
- vija vertikale të paraqesë normalen ndaj sipërfaqes.
- Drejtoje lazerin nga ajri drejt sipërfaqes së ujit, në mënyrë që rrezja të bjerë sa më afër qendrës së këndmatësit (figura 2).
- Për çdo matje: mat këndin e rënies α (ndërmjet rrezes rënëse dhe normales në ajër).
- mat këndin e përthyerjes β (ndërmjet rrezes së përthyer dhe normales në ujë).
- Përsërite matjen për disa vlera të α , për shembull $20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, \dots 70^\circ$.



Figura 2. Vendosja e aparaturës në eksperiment

Rezultatet:

- Shënoji rezultatet në tabelë. Më pas, llogarit vlerat e $\sin \alpha$, $\sin \beta$ dhe raportin $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

N	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\sin \alpha$	$\sin \beta$	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
1	20				
2	30				
...					

Pyetje:

- A është këndi i përthyerjes β më i madh apo më i vogël se këndi i rënies α kur drita kalon nga ajri në ujë?
- A është raporti $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ përafërsisht i njëjtë (konstant) për të gjitha matjet?
- Me cilën madhësi fizike të njohur mund të krahasohet kjo konstante e fituar?

Gjatë kalimit të dritës nga ajri në ujë, rrezja e dritës përrthyhet në mënyrë të tillë që këndi i përrthyerjes është më i vogël se këndi i rënies. Kjo tregon se shpejtësia e dritës në ujë është më e vogël se në ajër. Barazimi që jep lidhjen ndërmjet indekseve absolute të përrthyerjes së të dy mjedisëve, këndit të rënies dhe këndit të përrthyerjes paraqet **Ligjin e përrthyerjes së dritës**:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta .$$

Duke pasur parasysh se indeksi absolut i përrthyerjes lidhet me shpejtësinë e përrhapjes së dritës në mjedisin optik përkatës, $n_1 = c / v_1$ dhe $n_2 = c / v_2$, Ligjin e përrthyerjes së dritës mund ta shkruajmë edhe në formën:

$$\frac{\sin \alpha}{v_1} = \frac{\sin \beta}{v_2} .$$

Në mënyrë grafike, përrthyerja e një rrezeje drite gjatë kalimit nga një mjedis i tejdukshëm në një tjetër paraqitet si në figurën 3.

Çfarë ndodh nëse rrezja e dritës bie nga një mjedis me indeks më të madh të përrthyerjes drejt një mjedisi me indeks më të vogël? Si shembull, mund ta përsëritim eksperimentin, por këtë herë ta drejtojmë lazerin nga uji drejt ajrit. Do të vërejmë se paraqitja gjeometrike e përrthyerjes mbetet e njëjtë si në figurën 3 dhe se Ligji i përrthyerjes vazhdon të vlejë, me ndryshimin që tani këndi β luan rolin e këndit të rënies, ndërsa këndi α – atë të këndit të përrthyerjes.

Në situata praktike ndodh shpesh që drita të kalojë nëpër disa mjedise të ndryshme njëri pas tjetrit. Në raste të tilla, Ligji i përrthyerjes zbatohet veçmas për çdo kalim, ku vlen relacioni :

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 = n_3 \sin \alpha_3 = \dots$$

Ky barazim mundëson të ndiqet ndryshimi i kahjes së përrhapjes së dritës gjatë çdo kalimi të njëpasnjëshëm ndërmjet mjedisëve të ndryshme optike.

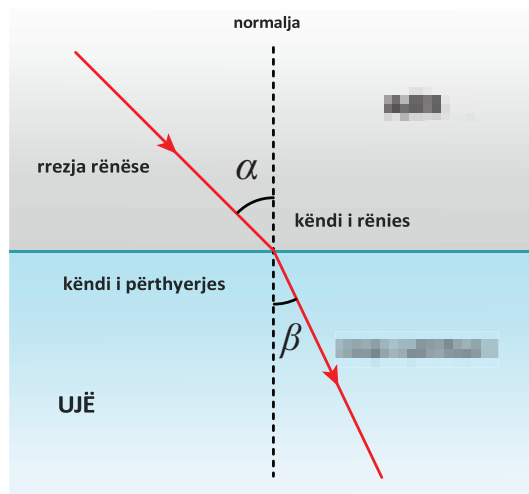


Figura 3. Paraqitje skematike e përrthyerjes së dritës, me elementet kryesore të shënuara

Pllaka planparalele

■ Pllaka planparalele është një element optik i përbërë nga një material me indeks përrthyerjeje të ndryshëm nga ai i mjedisit përreth. Ajo ka dy sipërfaqe ndarëse të rrafshëta dhe paralele me njëra-tjetrën.

Kur një rreze drite kalon nëpër një pllakë planparalele, ndodhin dy përrthyerje:

- e para, gjatë kalimit nga ajri në materialin e pllakës;
- e dyta, gjatë kalimit nga materiali përsëri në ajër..

Gjatë përrthyerjes së parë, rrezja ndryshon drejtimin e përrhapjes në përputhje me Ligjin e përrthyerjes. Gjatë përrthyerjes së dytë, drejtimi i përrhapjes së rrezes ndryshon përsëri, në mënyrë që rrezja dalëse të jetë paralele me rrezën rënëse (figura 4).

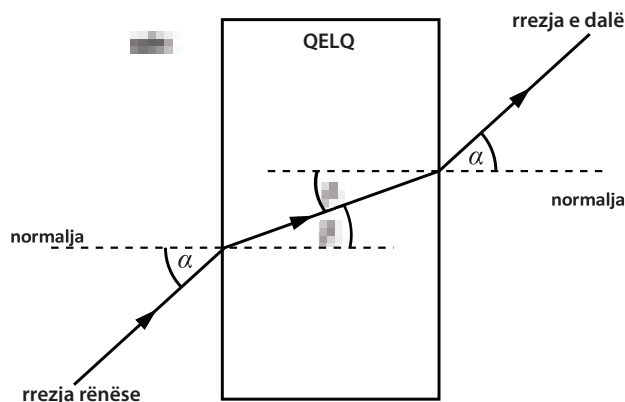


Figura 4. Paraqitje skematike e përrthyerjes së dritës nëpër një pllakë planparalele

**SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.**

Sa është këndi i përthyerjes në sipërfaqen e fundit ndarëse të një pllake planparalele, nëse indeksi i përthyerjes së pllakës është 1,5, ndërsa këndi i rënies në sipërfaqen e parë është $\alpha = 30^\circ$? Pllaka ndodhet në ajër.

Të dhënat: $n_{\text{плочка}} = 1,5$, pllaka është në ajër ($n_{\text{воздух}} = 1$).

Kërkohet γ – ?

Zgjidhje:

Sipërfaqja e parë ndarëse (ajër $\rightarrow$ qelq) $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$.

$$1 \cdot \sin 30^\circ = 1,5 \cdot \sin \beta; \quad \sin 30^\circ = 0,5 \Rightarrow \sin \beta = \frac{0,5}{1,5} = \frac{1}{3}; \quad \beta = \arcsin\left(\frac{1}{3}\right) \approx 19,47^\circ.$$

Sipërfaqja e dytë ndarëse (qelq $\rightarrow$ ajër).

Te pllaka planparalele, të dyja sipërfaqet janë paralele, prandaj këndi i brendshëm i rënies në sipërfaqen e dytë është i njëjtë:

$$\alpha_2 = \beta \approx 19,47^\circ; \quad n_{\text{плочка}} \sin \alpha_2 = n_{\text{воздух}} \sin \gamma; \quad \sin \gamma = \frac{1,5 \cdot \sin 19,47^\circ}{1} = 0,5.$$

Për këndin e përthyerjes në sipërfaqen ndarëse qelq–ajër fitojmë: $\gamma = \arcsin(0,5) = 30^\circ$, pra rrezja dalëse është paralele me rrezen rënëse, por është e zhvendosur.

Te pllaka planparalele shfaqet edhe një efekt tjetër i rëndësishëm: zhvendosja e rrezes së dritës. Edhe pse rrezja dalëse është paralele me rrezen rënëse, ajo nuk shtrihet në të njëjtën drejtëz (figura 5). Madhësia e kësaj zhvendosjeje varet nga:

- trashësia e pllakës planparalele;
- indeksi i përthyerjes së materialit nga i cili është përbërë pllaka;
- këndi i rënies së dritës mbi sipërfaqen e parë ndarëse.

Nëse trashësia e pllakës është e njohur, zhvendosja mund të llogaritet me anë të trigonometrisë në një trekëndësh kënddrejtë.

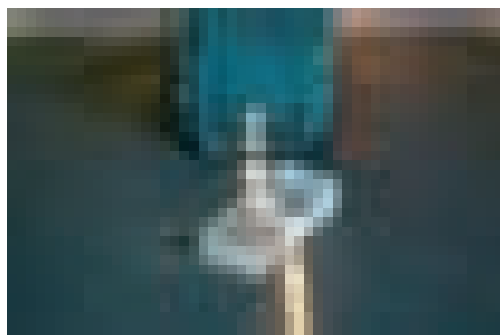


Figura 5. Përthyerja e dritës nëpër një pllakë planparalele

**SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.**

Për sa do të zhvendoset tufa lazerike e dritës, në shembullin e mëparshëm, nëse trashësia e pllakës planparalele është 10 cm?

Të dhënat:

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$n = 1,5$$

$$n_1 \approx 1$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Kërkohet:

$$\delta - ?$$

Në detyrën e mëparshme fituam se:
 $\beta \approx 19,47^\circ$.

Zhvendosja δ e rrezes së dritës është

barabartë me: $\delta = \overline{AB} \cdot \sin(\alpha - \beta)$, ku:
 $\overline{AB} = \frac{d}{\cos \beta}$. për zhvendosjen e rrezes

$$\text{fitojmë: } \delta = d \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} = 1,94 \text{ cm}.$$



Pasqyrimi total

Le të shqyrtojmë kalimin e dritës nga një mjedis me indeks më të madh të përthyerjes drejt një mjedisi me indeks më të vogël, për shembull nga uji në ajër. Nëse këndin e rënies e rritim gradualisht, këndi i përthyerjes rritet deri në çastin kur arrin 90° . Këndi i rënies për të cilin këndi i përthyerjes është 90° , quhet **kënd kufitar**.

Nëse këndi i rënies rritet edhe më shumë, drita pasqyrohet plotësisht nga sipërfaqja ndarëse (figura 6).

Pasqyrimi total është dukuria gjatë së cilës drita pasqyrohet tërësisht nga sipërfaqja ndarëse, kur bie nga një mjedis me indeks më të madh të përthyerjes drejt një mjedisi me indeks më të vogël, nën kënd më të madh se këndi kufitar.

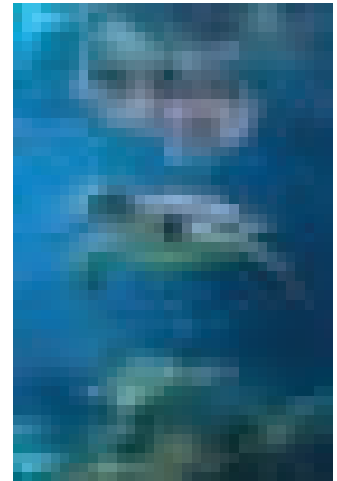


Figura 6. Pasqyrimi total



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Të llogaritet vlera e këndit kufitar ndërmjet ujit dhe ajrit.

Të dhënat: $n_1 = 1,33$, $n_2 = 1$

Të dhënat: $\alpha_g - ?$

Zgjidhje:

Sipas përkufizimit, kur drita bie me këndin kufitar, këndi i përthyerjes është: $\beta = 90^\circ$.

Shkruajmë Ligjin e përthyerjes së dritës $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$.

Zëvendësojmë $\beta = 90^\circ$ dhe $\sin 90^\circ = 1$, ndërsa këndi i rënies bëhet kënd kufitar $\alpha = \alpha_g$, $n_1 \sin \alpha_g = n_2$

Prej nga: $\sin \alpha_g = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{1,33} = 0,75$.

Këndi kufitar është: $\alpha_g = 48,8^\circ$.

Gjatë kalimit të dritës nga uji në ajër, këndi kufitar është $48,8^\circ$. Për kënde të rënies më të mëdha se kjo vlerë, rrezja e përthyer nuk formohet më dhe ndodh pasqyrimi i plotë.

Në rastin e përgjithshëm, gjatë kalimit nga një mjedis me indeks më të madh të përthyerjes n_1 drejt një mjedisi me indeks më të vogël të përthyerjes n_2 , drejt një mjedisi me indeks më të vogël të përthyerjes:

$$\sin \alpha_g = \frac{n_2}{n_1}.$$

Në figurën 7 janë paraqitur rastet e kalimit të dritës nga një mjedis me indeks më të madh të përthyerjes në një mjedis me indeks më të vogël të përthyerjes (1). Në të njëjtën figurë është paraqitur përthyerja e dritës që bie mbi sipërfaqen ndarëse me këndin kufitar (2), si dhe rasti kur drita bie mbi këtë sipërfaqe me kënd më të madh se këndi kufitar, përkatësisht dukuria e pasqyrimin total (3).

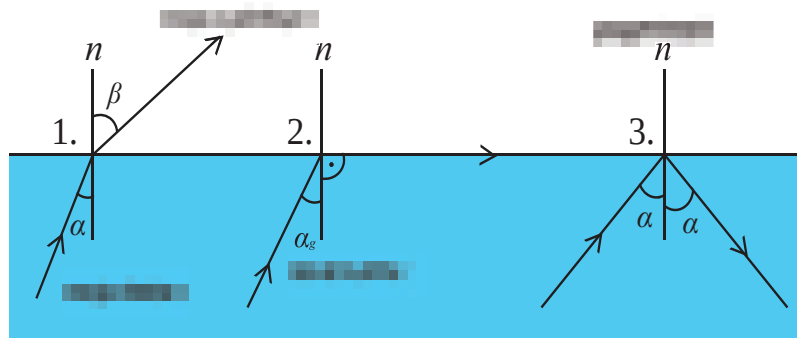


Figura 7. Kalimi nga një mjedis me indeks më të madh të përthyerjes drejt një mjedisi me indeks më të vogël. Në këndin kufitar, rrezja e përthyer përhapet përgjatë sipërfaqes ndarëse.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Fibrat optike – zbatimi i pasqyrimin total

Një nga zbatimet më të rëndësishme bashkëkohore të dukurisë së pasqyrimin total janë **fibrat optike**. Ato përbëhen nga një bërthamë prej qelqi ose plastike, indeksi i përthyerjes i së cilës është më i madh se ai i mbështjellësit të fibrës. Kur një rreze drite përhapet nëpër fibrën optike dhe bie mbi sipërfaqen ndarëse ndërmjet bërthamës dhe mbështjellësit me kënd më të madh se këndi kufitar, në vend që të dalë nga fibra, ajo pasqyrohet plotësisht prapa. Kjo dukuri përsëritet përgjatë gjithë fibrës, kështu që drita mbetet e kufizuar brenda saj (figura 8).

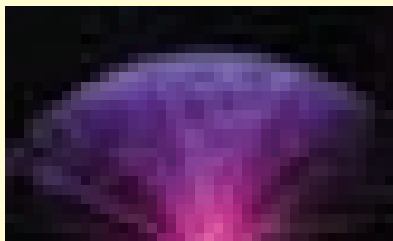


Figura 9. Fibra optike të ndriçuara, të cilat e transmetojnë dritën deri në skajet e tyre

Për shkak të pasqyrimin total të përsëritur, drita mund të transmetohet nëpër fibrën optike edhe kur ajo është e përkulur, duke humbur vetëm një pjesë shumë të vogël të energjisë së saj. Falë kësaj vetie, fibrat optike përdoren gjerësisht në telekomunikacion, në mjekësi dhe në rrjetet bashkëkohore kompjuterike (figura 9). bashkëkohore kompjuterike (figura 9).

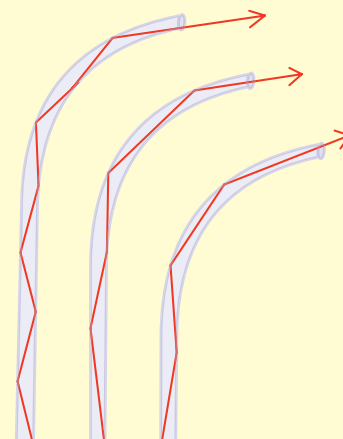


Figura 8. Pasqyrimi total në një fibër optike të përkulur me kënde të ndryshme



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse përthyerja e dritës nuk varet nga trashësia e mjedisit, por vetëm nga indeksi i tij i përthyerjes?
2. Dy mjedise kanë indekset e përthyerjes n_1 dhe n_2 , ku $n_1 > n_2$. Si ndryshon këndi kufitar nëse rritet dallimi ndërmjet indekseve?
3. Shpejtësia e dritës në vakum është $3,0 \cdot 10^8$ m/s. Nëse shpejtësia e dritës në një mjedis të tejdukshëm është $2,0 \cdot 10^8$ m/s, llogarit indeksin e përthyerjes të atij mjedisi. (Zgjidhja: 1,5)
4. Një rreze drite kalon nëpër një pllakë planparalele prej qelqi me indeks përthyerje 1,4 dhe trashësi 2 mm. Këndi i rënies është 45° .
 - a) Llogarit këndin e përthyerjes në pllakë.
 - b) Llogarit këndin e rrezes dalëse nga pllaka.
 - c) Sa do të zhvendoset anash rrezja gjatë daljes nga pllaka? (Zgjidhja: a) 30° b) 45° c) 5,9 mm)
5. Një zhytës ndodhet në fundin e një liqeni, në thellësi 20 m. Indeksi i përthyerjes së ujit është 1,33.
 - a) Llogarit këndin kufitar për kalimin ujë–ajër.
 - b) Cili është këndi më i madh ndaj vertikales, nën të cilin zhytësi mund të shikojë lart dhe ende të shohë jashtë ujit, (pa pasqyrim total)? (Zgjidhja: a) $48,8^\circ$ b) $48,8^\circ$ b) 22,8 m)
 - c) Sa është rrezja e “rrethit të dritës” në sipërfaqen e ujit që sheh zhytësi?
6. Një zhytës ndodhet në fundin e një liqeni dhe shikon lart. Nën këndin 50° ndaj normales, ai vëren shëmbëllimin e një guaske që ndodhet nën sipërfaqen e ujit. Nëse thellësia e liqenit është 15 m, në çfarë largësie horizontale nga zhytësi ndodhet guaska? (Zgjidhja: 18 m)

3.5. Thjerrrat optike

Në mësimin e mëparshëm pamë se çfarë ndodh kur drita kalon nga një mjedis optik në një tjetër. Si shembull interesant shqyrtuam pllakën planparalele, të cilën e hasim te të gjitha xhamat e rrafshët

përreth nesh. Por çfarë ndodh nëse pllaka nuk ka faqe të rrafshëta, por të lakuara? Për shembull, nëse shikojmë nëpër një gotë cilindrike të mbushur me ujë (figura 1), do të vërejmë se shëmbëllimet e objekteve që ndodhen prapa gotës duken të deformuara dhe të zhvendosura në raport me pozitën e tyre të vërtetë. Ky është një shembull i **thjerrës optike**.

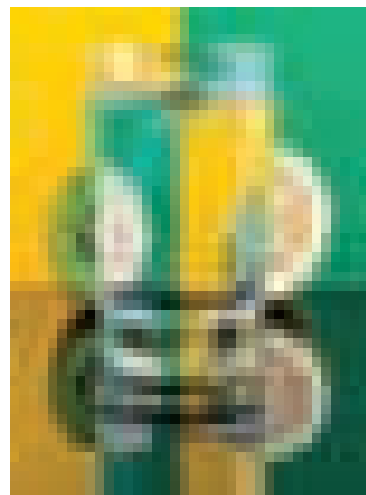


Figura 1. Përthyerja e dritës nëpër një gotë me ujë

Thjerra optike është një trup i tejdukshëm me indeks përthyerjeje të ndryshëm nga ai i mjedisit përreth dhe me të paktën një sipërfaqe ndarëse të lakuar. Kur drita kalon nëpër thjerrë, ajo përthyeret gjatë hyrjes dhe daljes prej saj, ngjashëm si te pllaka planparalele. Megjithatë, ndryshe nga ajo, te thjerrat sipërfaqet ndarëse nuk janë paralele, prandaj rrezet dalëse mund të mblidhen ose të shpërndahen. Edhe te thjerrat dallojmë disa elemente karakteristike: **boshtin optik**, **qendrën optike**, **rrafshin kryesor dhe fokusin**.

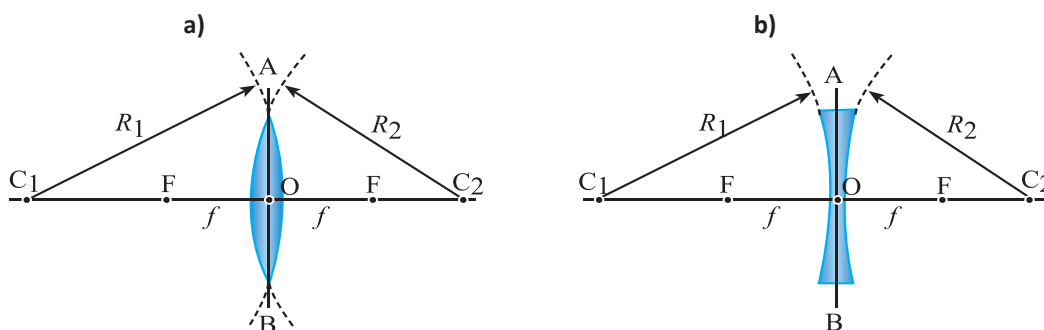


Figura 2. Thjerra të kufizuara nga dy sipërfaqe sferike me rreze të ndryshme

Boshti optik (ose boshti kryesor) është një drejtëz e imagjinuar që kalon nëpër qendrat e lakimit të sipërfaqeve sferike që formojnë thjerrën. Në figurën 2, ai paraqitet si drejtëza që lidh pikat C1 dhe C2.

Thjerra mund të përfytyrohet e prerë nga një rrafsh pingul me boshtin optik, i cili kalon nëpër skajet e saj. Ky rrafsh quhet rrafshi kryesor optik dhe te thjerrat e paraqitura në figurën 2, kalon nëpër pikat A dhe B.

Pika ku rrafshi kryesor optik e pret boshtin optik quhet qendra optike e thjerrës dhe zakonisht shënohet me O.

Gjatë kalimit nëpër thjerrë, drita përthyeret në të dyja sipërfaqet e saj ndarëse. Megjithatë, gjatë shqyrtimit të thjerrave të holla, këto dy përthyerje mund të zëvendësohen me një përthyerje të vetme, e cila merret se ndodh në rrafshin kryesor optik.

Thjerrat përmbledhëse dhe shpërndarëse

Sipas formës, ekzistojnë dy lloje kryesore thjerrash: **thjerrat përmbledhëse (konvekse)** dhe **thjerrat shpërndarëse (konkave)**.

Thjerrat përmbledhëse, të cilat shpesh quhen edhe thjerra të mysëta, karakterizohen nga trashësia më e madhe në pjesën e mesme, e cila zvogëlohet gradualisht drejt skajeve. Disa shembuj tipikë të thjerrave përmbledhëse janë paraqitur në figurën 3. Në varësi të formës së sipërfaqeve të tyre, thjerrat përmbledhëse ndahen në: bikonvekse, përkatësisht dyfish të mysëta (figura 3a); plankonvekse, përkatësisht të rrafshëta-mysëta (figura 3b); dhe konvekse-konkave, përkatësisht të mysëta-lugëta (figura 3c).

Vetia optike themelore dhe më e rëndësishme e thjerrave përmbledhëse është aftësia e tyre për të përmbledhur rrezet e dritës. **Thjerra përmbledhëse** është thjerra nëpër të cilën, pas kalimit të një tufe paralele rrezesh, rrezet mbledhen në një pikë të quajtur fokusi i thjerrës përmbledhëse (figura 5a).

Thjerrat shpërndarëse, ndryshe nga thjerrat përmbledhëse, kanë trashësinë më të vogël në pjesën e mesme ndërsa skajet e tyre janë më të trasha. Shembuj të thjerrave shpërndarëse janë paraqitur në figurën 4. Edhe ato, ashtu si thjerrat përmbledhëse, paraqiten në forma të ndryshme: bikonkave ose dyfish të lugëta (figura 4a), plankonkave ose të rrafshëta-lugëta (figura 4b), si dhe konkave-konvekse ose të lugëta-mysëta (figura 4c).

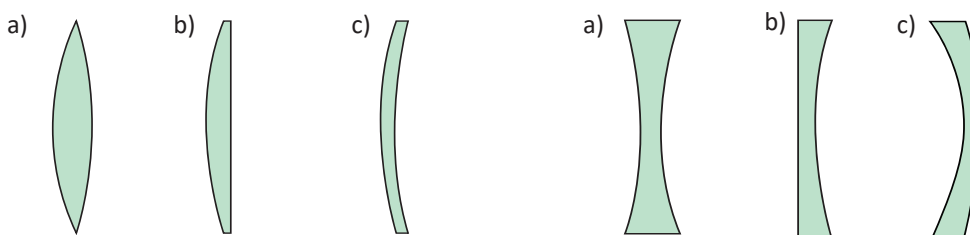


Figura 3. Forma të ndryshme të thjerrave përmbledhëse: a) thjerrë dyfish e mysët; b) thjerrë e rrafshët-mysët; c) thjerrë e mysët-lugët
Figura 4. Forma të ndryshme të thjerrave shpërndarëse: a) thjerrë dyfish e lugët; b) thjerrë e rrafshët-lugët; c) thjerrë e lugët-mysët

Veti kryesore e thjerrave shpërndarëse është se ato nuk i përmbledhin, por i shpërndajnë rrezet e dritës. **Thjerra shpërndarëse** është thjerra nëpër të cilën, pas kalimit të një tufe paralele rrezesh, rrezet shpërndahen në mënyrë të tillë që zgjatimet e rrezeve të përthyerë të priten në një pikë, e cila quhet **fokusi i thjerrës shpërndarëse**.

Kjo është paraqitur qartë në figurën 5b.

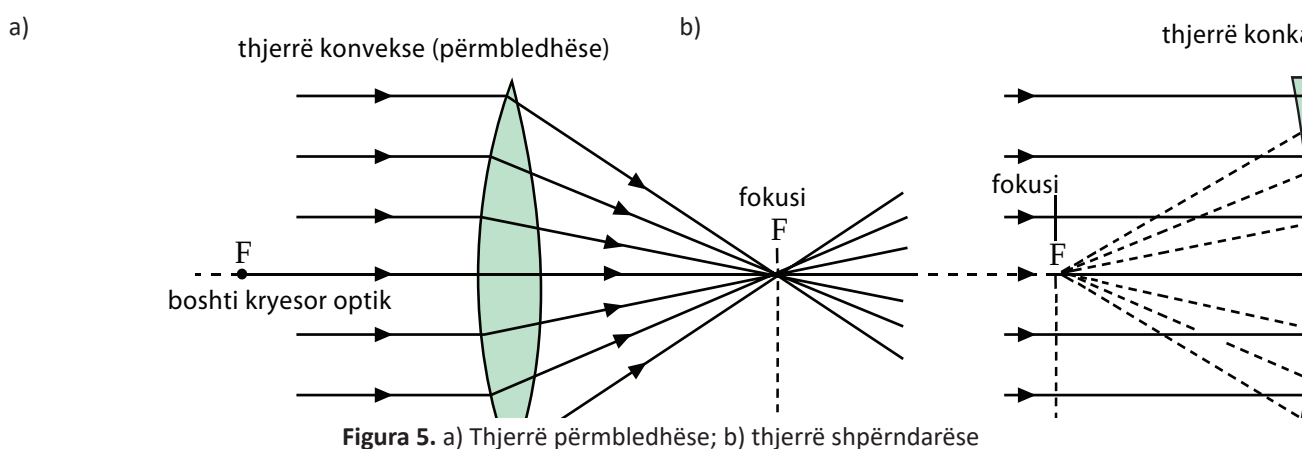


Figura 5. a) Thjerrë përmbledhëse; b) thjerrë shpërndarëse

Nëse një thjerrë do të veprojë si përmbledhëse ose shpërndarëse, nuk përcaktohet vetëm nga forma e saj. Rol të rëndësishëm luajnë edhe indeksi i përthyerjes i materialit nga i cili është përbërë thjerra dhe indeksi i përthyerjes i mjedisit ku ajo ndodhet. Kështu, një thjerrë që në ajër vepron si përmbledhëse mund të bëhet shpërndarëse nëse zhytet në një lëng me indeks përthyerjeje më të madh se ai i materialit të thjerrës.

Fokusi dhe largësia fokale e thjerrave

Kur një tufë paralele rrezesh drite kalon nëpër një thjerrë optike, përhapja e saj e mëtejshme varet nga lloji i thjerrës. Te thjerra përmbledhëse, pas kalimit nëpër të, tufa paralele e rrezeve mbledhet në një pikë. Kjo pikë quhet fokus dhe është një pikë reale në hapësirë, në të cilën drita mbledhet vërtet. Prandaj themi se fokusi i thjerrës përmbledhëse është real.

Te thjerra shpërndarëse, pas kalimit nëpër të, tufa paralele e rrezeve shpërndahet. Në këtë rast, fokusi nuk është pikë në të cilën drita mbledhet realisht, por një pikë gjeometrike nga e cila duket sikur dalin rrezet e përthyerja. Prandaj, fokusi i thjerrës shpërndarëse është virtual dhe shërben si pikë ndihmëse për përshkrimin e përhapjes së dritës pas përthyerjes së saj nëpër thjerrë.

Fokusi zakonisht shënohet me F . Largësia ndërmjet fokusit dhe qendrës optike të thjerrës quhet largësi fokale dhe shënohet me f .

Te thjerrat përmbledhëse, largësia fokale ka vlerë pozitive, sepse fokusi është real. Te thjerrat shpërndarëse, largësia fokale ka vlerë negative, sepse fokusi është virtual. Sa më e vogël të jetë largësia fokale, aq më shumë thjerra e ndryshon drejtimin e rrezeve të përthyerja të dritës.

Largësia fokale e thjerrave të holla mund të përcaktohet me barazimin:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

ku n është indeksi i përthyerjes së materialit nga i cili është përbërë thjerra, n_0 është indeksi i përthyerjes së mjedisit optik ku ndodhet thjerra (për shembull, ajri ose uji), ndërsa R_1 dhe R_2 janë rrezet e lakimit të sipërfaqeve sferike.

Në mjekësi dhe në optikë përdoret shpesh madhësia fizike e quajtur fuqia optike e thjerrës, e cila karakterizon aftësinë e saj për të fokusuar tufën e dritës.

Fuqia optike e thjerrës përkufizohet si vlera e anasjelltë e largësisë fokale dhe llogaritet me relacionin:

$$J = \frac{1}{f},$$

ku largësia fokale f shprehet në metra. Meqenëse largësia fokale mund të ketë vlerë pozitive ose negative, fuqia optike është pozitive te thjerrat përmbledhëse dhe negative te thjerrat shpërndarëse. Fuqia optike e thjerrës shprehet në m^{-1} ose në dioptri (D). Nga formula e mësipërme rrjedh se $1 D = 1 \text{ m}^{-1}$. Një thjerrë me fuqi optike 1 dioptri ka largësi fokale 1 m, ndërsa një thjerrë me fuqi optike 2 dioptri ka largësi fokale 0,5 m, e kështu me radhë. Meqenëse dioptria nuk është njësi në SI, për shënimin e saj nuk ekziston një simbol i vetëm standard dhe në literaturë mund të haset si d , diop , D e të ngjashme.



AKTIVITETI 1.

Përcaktimi i largësisë fokale të një thjerre përmbledhëse

Aparatura e nevojshme: thjerrë përmbledhëse (për shembull, lupë ose syze “për afër”), burim i largët drite (për shembull, një dritare ose llambë në tavan) dhe ekran (për shembull, një fletë e bardhë letre).

Procedura:

1. Vendose thjerrën të kthyer drejt burimit të dritës, në mënyrë që boshti i saj optik të jetë i kahëzuar drejt burimit.
2. Duke e mbajtur thjerrën të palëvizshme, vendose ekranin në anën e kundërt të saj, përkatësisht në anën ku nuk ndodhet burimi i dritës.
3. Afroje ose largoje ekranin derisa në të, të formohet një shëmbëllim i qartë dhe i mprehtë i burimit të dritës.

Analiza e eksperimentit:

- a) Çfarë shëmbëllimi është formuar? Përshkruaje duke përdorur të njëjtat karakteristika si te pasqyrat (i drejtë ose i përmbytur, i zmadhuar ose i zvogëluar, real ose virtual.).
- b) Sa është largësia ndërmjet thjerrës dhe ekranit kur shëmbëllimi është më i qartë? Si quhet kjo largësi te thjerra përmblidhëse?

Rrezet karakteristike te thjerrat

Gjatë konstruktimit të shëmbëllimeve të objekteve që formohen nga thjerra përdoren **rrezet karakteristike**. Rreze karakteristike quhen rrezet për të cilat e dimë paraprakisht se si do të përthyerhen gjatë kalimit nëpër thjerrë. Për konstruktimin e shëmbëllimit mjafton të përdoren dy nga tri rrezet e mëposhtme, të paraqitura në figurën 6.

1. Rrezja paralele me boshtin kryesor optik

Thjerra përmblidhëse: Nëse rrezja rënëse është paralele me boshtin optik, pas përthyerjes nëpër thjerrë ajo kalon nëpër fokusin e dytë të thjerrës (në anën tjetër të saj).

Thjerra shpërndarëse: Nëse rrezja rënëse është paralele me boshtin optik, pas kalimit nëpër thjerrë ajo shpërndahet në mënyrë të tillë që zgjatimi i rrezes së përthyer kalon nëpër fokusin e parë të thjerrës.

2. Rrezja që kalon nëpër fokus

Thjerra përmblidhëse: Nëse rrezja rënëse kalon nëpër fokus, pas përthyerjes nëpër thjerrë ajo përhapet paralelisht me boshtin kryesor optik.

Thjerra shpërndarëse: Nëse rrezja rënëse është e kahëzuar drejt fokusit të dytë të thjerrës (në anën tjetër të saj), pas përthyerjes nëpër thjerrë ajo përhapet paralelisht me boshtin kryesor optik.

3. Rrezja rënëse që kalon nëpër qendrën optike

pas kalimit nëpër qendrën optike, rrezja nuk e ndryshon drejtimin e përhapjes.

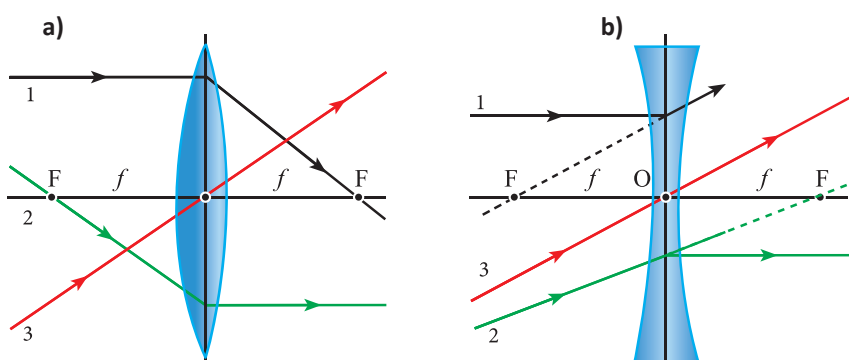


Figura 6. a) Rrezet karakteristike te thjerra përmblidhëse; b) rrezet karakteristike te thjerra shpërndarëse

Konstruktimi i shëmbëllimeve te thjerrat

Me pikën e prerjes së rrezeve të përthyer (ose të zgjatimeve të tyre) përcaktohet pozita e shëmbëllimit të pikës së shqyrtuar të objektit. Në figurat 7 dhe 8 është paraqitur konstruktimi i shëmbëllimit me përdorimin e rrezeve karakteristike te thjerra përmblidhëse dhe te thjerra shpërndarëse.

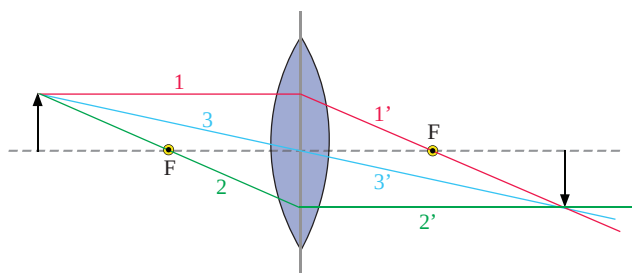


Figura 7. Konstruktimi i shëmbëllimit te thjerra përmblidhëse

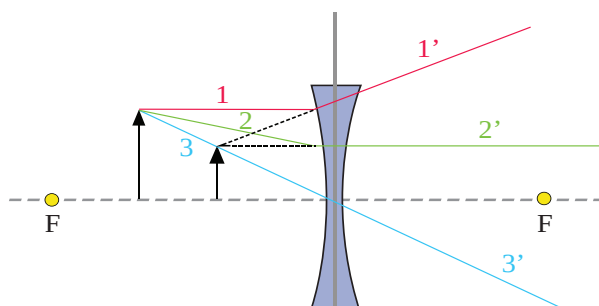


Figura 8. Konstruktimi i shëmbëllimit te thjerra shpërndarëse



AKTIVITETI 2.

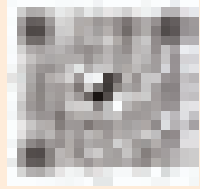
Konstrukto shëmbëllimin e një objekti të vendosur përpara një thjërre përmblendhëse:

- në largësinë e dyfishtë fokale;
- në fokus;
- ndërmjet fokusit dhe qendrës optike

Me ndihmën e simulimit të dhënë në faqen e internetit

[Geometric Optics - Оптика | Lenses | Mirrors - PhET Interactive Simulations](#)

Kontrollo konstruktivet e tua.



Barazimi i thjerrës së hollë

Në shembujt e mëparshëm, me ndihmën e konstruktimit gjeometrik, përcaktuam karakteristikat e shëmbëllimit dhe anën e thjerrës në të cilën ai formohet. Për përcaktimin e saktë të largësisë së shëmbëllimit përdoret barazimi i thjerrës së hollë:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l},$$

ku p është largësia e objektit nga thjerra, l është largësia e shëmbëllimit nga thjerra ndërsa f është largësia fokale e thjerrës. Largësia fokale ka vlerë pozitive të thjerra përmblendhëse dhe vlerë negative të thjerra shpërndarëse. Nëse shëmbëllimi është virtual, atëherë l ka vlerë negative.

Për të përcaktuar sa është zmadhuar ose zvogëluar shëmbëllimi në raport me objektin, përdoret madhësia fizike e quajtur **zmadhimi i thjerrës** U , e përkufizuar si raporti ndërmjet lartësisë së shëmbëllimit dhe lartësisë së objektit

$$U = \frac{h_l}{h_p},$$

ku h_l është lartësia e shëmbëllimit ndërsa h_p është lartësia e objektit. Zmadhimi mund të llogaritet edhe nëpërmjet largësisë së objektit dhe largësisë së shëmbëllimit nga thjerra:

$$U = \frac{|l|}{p}.$$

Nëse zmadhimi është më i madh se 1, shëmbëllimi është i zmadhuar; nëse është i barabartë me 1, shëmbëllimi ka të njëjtën madhësi si objekti; ndërsa nëse është më i vogël se 1, shëmbëllimi është i zvogëluar në raport me objektin.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një objekt me lartësi 10 cm është vendosur në largësi 5 cm nga qendra optike e thjerrës. Shëmbëllimi formohet në largësi 3 cm, në të njëjtën anë të thjerrës ku ndodhet edhe objekti. Të përcaktohen:

- zmadhimi që fitohet me thjerrën;
- lartësia e shëmbëllimit;
- largësia fokale dhe lloji i thjerrës.

Të dhënat: $P = 10 \text{ cm}$, $p = +5 \text{ cm}$, $l = -3 \text{ cm}$ **Kërkohet:** $U = ?$ $h_l = ?$ $f = ?$

a) Zmadhimi U për thjerrën e hollë është: $U = \frac{|l|}{p} = 0,6$. Meqenëse $U < 1$, shëmbëllimi është i zvogëluar.

b) Lartësia e shëmbëllimit është $h_l = U \cdot h_p = 6 \text{ cm}$.

c) Largësia fokale f , opërcaktohet nga barazimi i thjerrës së hollë:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l} \Rightarrow f = \frac{pl}{p+l} = -7,5 \text{ cm}.$$

Vlera negative e largësisë fokale tregon se thjerra e përdorur është shpërndarëse.

Si shohim me sy?

Thjerrat i hasim kudo përreth nesh ndërsa njëra prej tyre ndodhet edhe në syrin e njeriut. Kjo është thjerrëza e syrit, e cila luan rol kyç në procesin e të parit. Në sy arrijnë rrezet e dritës që vijnë nga objektet përreth. Kur objekti është larg, rrezet janë përafërsisht paralele, ndërsa kur është afër, ato shpërndahen në drejtime të ndryshme në hapësirë. Për shikim të qartë, këto rreze duhet të formojnë një shëmbëllim real pikërisht në retinë, e cila është një shtresë e ndjeshme ndaj dritës në pjesën e pasme të syrit. Kornea dhe thjerrëza e syrit veprojnë së bashku si një thjerrë e hollë përmbledhëse. Kornea siguron pjesën më të madhe të përthyerjes, ndërsa thjerrëza mundëson fokusimin e saktë. Meqenëse largësia ndërmjet thjerrzës dhe retinës është përafërsisht konstante, largësia fokale e thjerrzës duhet të përshtatet gjatë shikimit të objekteve që ndodhen në largësi të ndryshme nga syri. Kjo aftësi e thjerrzës quhet akomodim dhe realizohet me veprimin e muskujve ciliarë (figura 9). Gjatë shikimit të objekteve të afërta, thjerrëza trashet dhe ka largësi fokale më të vogël, ndërsa gjatë shikimit të objekteve të largëta, ajo hollohet dhe largësia fokale zmadhohet.

Sasia e dritës që hyn në sy rregullohet nga bebëza, e cila zgjerohet në dritë të dobët dhe ngushtohet në dritë të fortë. Informacionet e dritës transmetohen nëpërmjet nervit optik deri në tru, ku krijohet ndjesia e të parit.

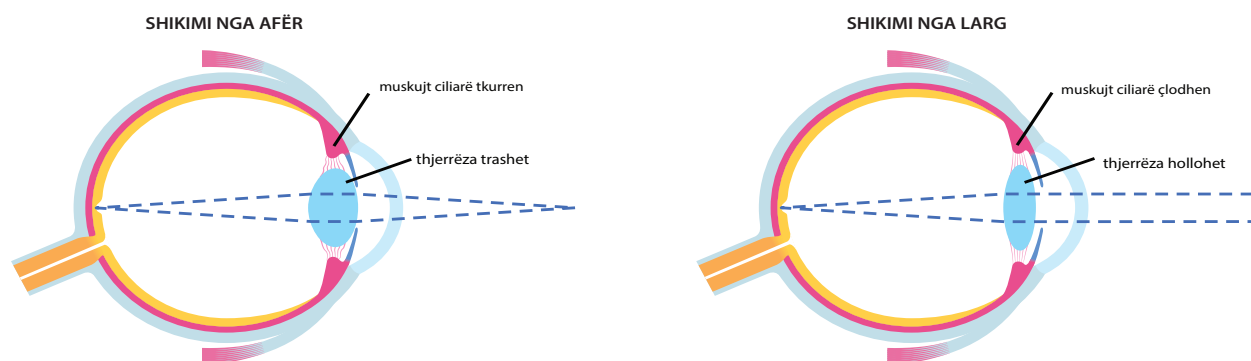


Figura 9. Paraqitje skematike e akomodimit të syrit gjatë shikimit të objekteve të afërta (majtas) dhe të largëta (djathtas)

Megjithatë, syri nuk është një aparat optik i përsosur. Te shumë njerëz shfaqen shmangie gjatë fokusimit, prandaj shëmbëllimi nuk formohet saktësisht në retinë, por pak përpara ose prapa saj. Në këtë rast, shëmbëllimi që perceptojmë është i paqartë. Kjo ngjason me situatën që vërejtëm në Aktivitetin 1, kur ekrani nuk ishte vendosur saktësisht në pozitën ku formohet shëmbëllimi. Parregullsitë e tilla në fokusim shkaktojnë dukuri si **miopia** (shkurtpamësia) dhe **hipermetropia** (largpamësia) (figura 10). Te miopia, syri nuk mund t'i fokusojë qartë objektet e largëta. Në këtë rast, shëmbëllimi i tyre formohet përpara retinës. Te hipermetropia, vështirësi paraqet shikimi i objekteve të afërta. Në këtë rast, shëmbëllimi formohet prapa retinës.

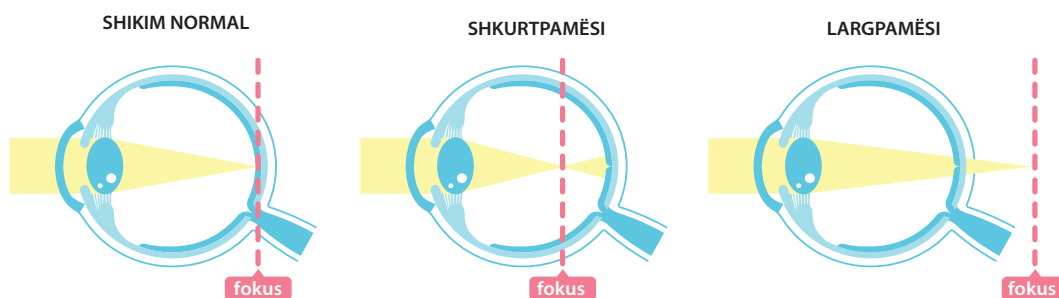


Figura 9. Paraqitje skematike e akomodimit të syrit gjatë shikimit të objekteve të afërta (majtas) dhe të largëta (djathtas)



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Një nxënëse është miope dhe mban syze me fuqi optike -3 D . Deri në çfarë largësie mund të shohë qartë pa syze?

Të dhënat : $J = -3\text{ D}$

Kërkohet $r = ?$

Zgjidhje:

Te syri miop, shëmbëllimet e objekteve të largëta fokusohen përpara retinës. Prandaj, syzet korrigjuese janë shpërndarëse dhe kanë për detyrë të bëjnë që rrezet që vijnë nga objektet e largëta të duken sikur dalin nga pika e largët e syrit. Kjo është largësia më e madhe në të cilën syri mund të shohë qartë pa korrigjim.

$$\text{Largësia fokale e syzeve është : } f = \frac{1}{J} = -\frac{1}{3\text{ m}^{-1}} = -0,33\text{ m}, \quad r = |f| = 0,33\text{ m}.$$

Sipas vlerës absolute, kjo largësi i përgjigjet pikës së largët të syrit.

Prandaj, pa syze, nxënësjë mund t'i shohë qartë objektet deri në largësinë 33 cm , ndërsa objektet më të largëta i duken të paqarta.



ZBATIMI NË JETËN E PËRDITSHME

Pajisjet optike

Përveç syzeve, të cilat shumë njerëz i përdorin çdo ditë, ekzistojnë edhe shumë pajisje të tjera optike që mundësojnë vëzhgimin më të mirë të objekteve të afërta ose të largëta. Pajisja optike është një sistem i përbërë nga një ose më shumë thjerra (ose pasqyra), i cili mundëson zmadhimin ose paraqitjen më të qartë të objekteve që syri i njeriut nuk mund t'i dallojë mjaftueshëm qartë.

Pajisja më e thjeshtë optike është llupa. Ajo është një thjerrë përmbledhëse që përdoret për vëzhgimin dhe zmadhimin e objekteve të vogla, të vendosura pranë thjerrës (figura 11). Kur përdoret siç duhet, llupa formon një shëmbëllim virtuale, të drejtë dhe të zmadhuar. Ky është një zbatim i drejtpërdrejtë i vetive të thjerrës përmbledhëse, të shqyrtuara në pjesën e mëparshme.

Pajisje optike më të ndërlikuara janë **teleskopët** dhe **mikroskopët**. Teleskopi është një pajisje që përdor një sistem thjerrash, pasqyrash ose kombinimin e tyre për vëzhgimin e objekteve shumë të largëta. Në varësi të konstruksionit optik, teleskopët mund të jenë refraktorë (me thjerra), reflektorë (me pasqyra) ose të kombinuar (me thjerra dhe pasqyra), siç është paraqitur në figurën 12. Dylbitë janë një lloj i veçantë teleskopi që mundëson vëzhgimin njëkohësisht me të dy sytë.

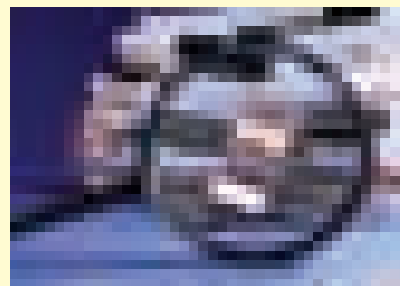
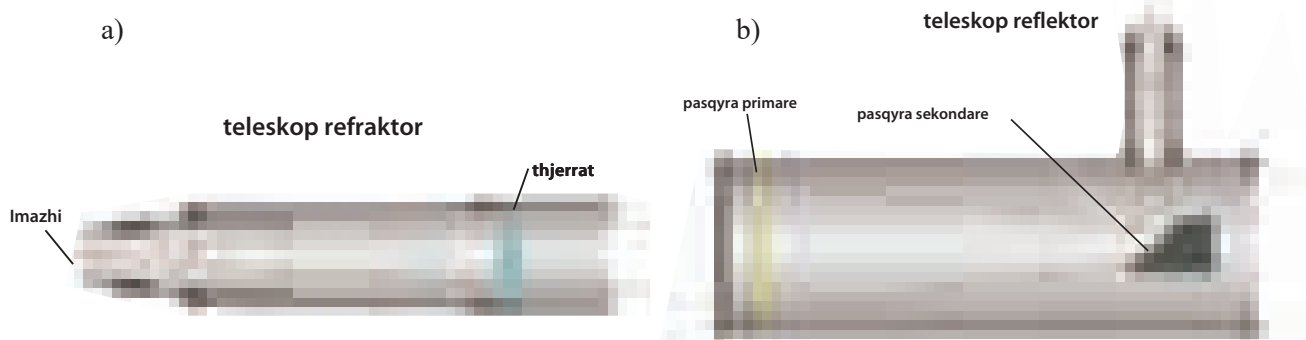


Figura 11. Zmadhimi me llupë



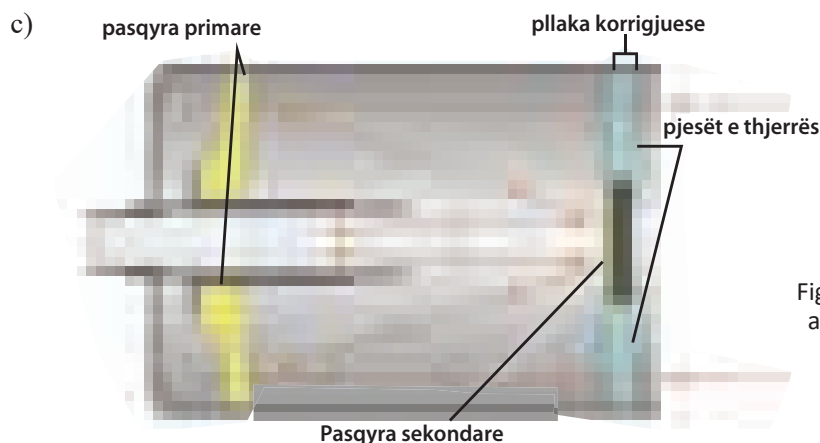


Figura 12. Lloje të ndryshme teleskopësh:
a) refraktor; b) reflektor; c) i kombinuar (poshtë)



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Skicë e shëmbëllimit të teleskopi refraktor.

Zgjidhje:

Teleskopi refraktor përbëhet nga dy thjerra përmbledhëse:

- objektivi me largësi të madhe fokale f_1 ;
- okulari me largësi fokale dukshëm më të vogël f_2 , ku vlen $f_1 \gg f_2$.

Objektet që vëzhgohen ndodhen në largësi shumë të mëdha, prandaj drita që vjen prej tyre bie mbi objektiv në formën e një tufe rrezesh përafërsisht paralele. Pas kalimit nëpër objektiv, rrezet mbledhen në rrafshin e tij focal, ku formohet **shëmbëllimi real**. Ky shëmbëllim shërben si objekt për okularin.

Okulari vendoset në mënyrë që shëmbëllimi A'B' të ndodhet në rrafshin e tij focal ose shumë pranë tij. Pas kalimit nëpër okular, rrezet dalin të shpërndara, ndërsa zgjatimet e tyre prapa formojnë shëmbëllimin përfundimtar virtual A''B'', i cili vëzhgohet nga syri (figura 13).

Shëmbëllimi përfundimtar është i përmbysur në raport me objektin dhe nuk mund të projektohet në ekran.

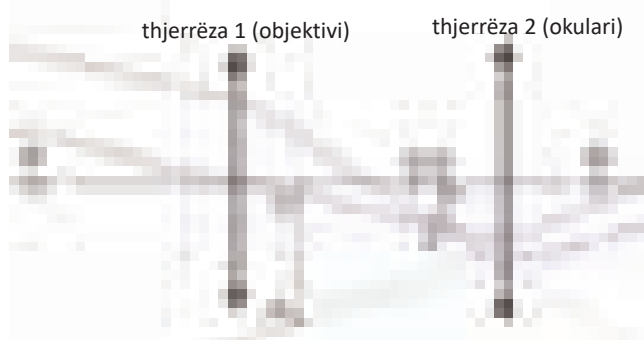


Figura 13. Konstruktimi i shëmbëllimit të teleskopi

Te mikroskopi, thjerrat janë të vendosura në mënyrë që të mundësojnë vëzhgimin e objekteve shumë të vogla me zmadhim të madh (figura 14). Ndryshe nga teleskopi, te mikroskopi objekti ndodhet shumë pranë pajisjes, ndërsa zmadhimi arrihet me kombinimin e dy thjerrave.

Figura 14. Krah i një insekti i vëzhguar me mikroskop optik





SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Skicë e formimit të shëmbëllimit te mikroskopi.

Mikroskopi përbëhet nga dy thjerra përmbledhëse:

- objektivi me largësi të vogël fokale f_1 ;
- okulari me largësi fokale më të madhe f_2 , ku vlen $f_1 \ll f_2$.

Objekti vendoset shumë pranë objektivit, pak përtej fokusit të tij. Rrezet e dritës që dalin nga objekti kalojnë nëpër objektiv, mbledhen dhe formojnë një shëmbëllim real, të përmbysur dhe të zmadhuar. Ky shëmbëllim ndodhet në largësi më të vogël se largësia fokale e okularit dhe shërben si objekt për të. Okulari vepron si llupë dhe nga ky shëmbëllim formon një shëmbëllim përfundimtar virtual dhe të zmadhuar edhe më shumë, i cili vëzhgohet nga syri (figura 15). Shëmbëllimi përfundimtar është i përmbysur në raport me objektin dhe nuk mund të projektohet në ekran.

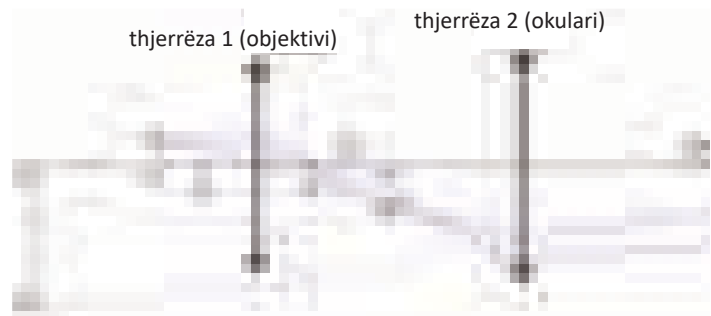


Figura 15. Konstruktimi i shëmbëllimit te mikroskopi



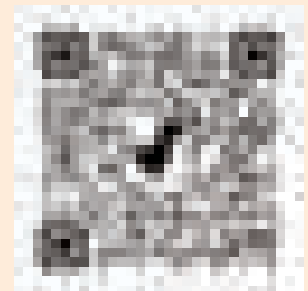
AKTIVITETI 3.

Skemat e teleskopëve dhe mikroskopëve në simulim

Me ndihmën e simulimit Simulimi i rrezeve optike (Ray Optics Simulation), konstrukto llojet e ndryshme të teleskopëve të paraqitur në figurat 12 dhe 13, si dhe mikroskopin e figurës 15.

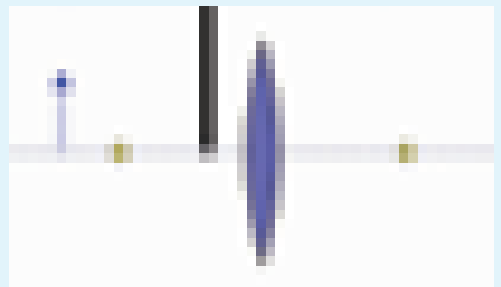
Për të realizuar konstruksione të tua me elemente të ndryshme optike, zgjidh opsionin Launch Simulator. Në galeri (Gallery) gjenden edhe shembuj të gatshëm të sistemeve optike.

Simulimi është i qasshëm në lidhjen e mëposhtme: <https://phydemo.app/ray-optics/>



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse syzet me thjerrë përmbledhëse nuk formojnë një shëmbëllim dukshëm të zmadhuar, edhe pse thjerra është përmbledhëse?
2. Çfarë do të ndodhë me shëmbëllimin nëse gjysmën e thjerrës e mbulojmë me një ekran të patejdukshëm, siç është paraqitur në figurën më poshtë? Kontrollloje përgjigjen me simulimin Ray Optics Simulation (shih figurën poshtë djathtas).
- 3 Çfarë ndodh me largësinë fokale nëse bashkojmë dy thjerra duke i vendosur ngjitur me njëra-tjetrën?
4. Një objekt me lartësi 6 cm ndodhet në largësi 18 cm nga qendra optike e një thjerre përmbledhëse me largësi fokale 9 cm. Të përcaktohen: a) largësia e shëmbëllimit nga thjerra; b) zmadhimi i thjerrës c) madhësia dhe lloji i shëmbëllimit. (Zgjidhja: $l = 18\text{cm}$, $U = 1$, shëmbëllimi ka të njëjtën madhësi si objekti dhe është real)
5. Një objekt me lartësi 5 cm është vendosur në largësi 12 cm nga një thjerrë shpërndarëse me largësi fokale -8 cm . Të përcaktohen: a) largësia e shëmbëllimit nga thjerra;



b) zmadhimi i thjerrës; c) lartësia dhe lloji i shëmbëllimit. (Zgjidhja: a) $l = -4,8\text{ cm}$; b) $U = 0,4$; c) $h_l = 2\text{ cm}$, shëmbëllimi është i zvogëluar dhe virtual)

6. Një objekt me lartësi 10 cm ndodhet në largësi 25 cm nga një thjerrë përmbledhëse. Vlera absolute e zmadhimit është 0,5. Të përcaktohen: a) largësia e shëmbëllimit nga thjerra; b) largësia fokale e thjerrës; c) lartësia dhe lloji i shëmbëllimit. (Zgjidhja: a) $l = 12,5\text{ cm}$; b) $f = 8,33\text{ cm}$; c) $h_l = 5\text{ cm}$, shëmbëllimi është i zvogëluar dhe real)

7. Një thjerrë përmbledhëse me largësi fokale 10 cm dhe një thjerrë shpërndarëse me largësi fokale -5 cm janë vendosur në largësi 20 cm nga njëra-tjetra. Një objekt ndodhet në largësi 30 cm përpara thjerrës së parë. a) Të përcaktohet shëmbëllimi i formuar nga thjerra e parë b) Të përcaktohet shëmbëllimi përfundimtar i sistemit. c) Të përcaktohet zmadhimi i përgjithshëm. (Zgjidhja $l_1 = 15\text{ cm}$, $U_1 = 0,5$ (shëmbëllim real, i zvogëluar dhe i përmbysur), $l_2 = -2,5\text{ cm}$, $U_2 = 0,5$ (shëmbëllim virtual, i zvogëluar dhe i drejtë), $U = 0,25$).

3.6. Dispersioni i dritës

Çfarë ngjyre ka drita që vjen nga Dielli? Zakonisht, Diellin e shohim të verdhë, ndërsa ndonjëherë edhe portokalli. Para se t'i përgjigjemi më saktë kësaj pyetjeje, le të shqyrtojmë një shembull të thjeshtë.

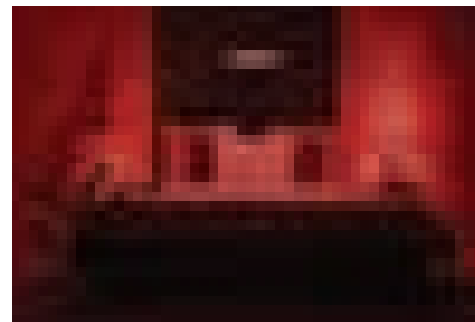


Figura 1. E njëjta dhomë e ndriçuar me dritë të bardhë (majtas) dhe me dritë të kuqe (djathtas)

Në një dhomë është vendosur një llambë e përbërë vetëm nga dioda LED të kuqe. Çfarë ngjyre do të kenë objektet në dhomë?

Në figurën 1 (djathtas), dhoma duket sikur është ngjyrosur me të kuqe. Ngjyra e objekteve nuk ndryshon, por meqenëse burimi emeton vetëm dritë të kuqe, deri te syri mund të arrijë vetëm ajo përbërëse e dritës që pasqyrohet nga objektet.

Objektet përreth nesh mund të duken me ngjyra të ndryshme, në varësi të ndriçimit. Kur drita bie mbi një objekt, ai thith një pjesë të gjatësive valore ndërsa pjesën tjetër e pasqyron. Ngjyra e objektit përcaktohet nga gjatësitë valore të dritës që pasqyrohen dhe arrijnë deri te syri ynë. Dielli është burim natyror i dritës së bardhë, sepse ajo përmban të gjitha gjatësitë valore të dukshme, ndërsa spektri i saj mund të vërehet te ylberi. Prandaj, kur ndriçohen me dritë të bardhë, objektet e shfaqin ngjyrën e tyre “të vërtetë”.

Çdo ngjyrë i përgjigjet një gjatësie valore të caktuar. Drita me një gjatësi valore quhet monokromatike, ndërsa drita e përbërë nga disa ngjyra quhet dritë polikromatike. Drita polikromatike nuk është e domosdoshme t'i përmbajë të gjitha ngjyrat e dukshme. Për shembull, kombinimi i dritës së kuqe me dritën e kaltër krijon përshtypjen e ngjyrës vjollcë (figura 2).

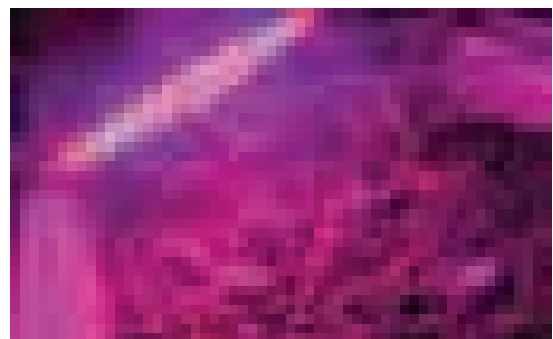


Figura 2. Bimë të ndriçuara me një llambë të përbërë nga dioda LED të kaltra dhe të kuqe

Një veti e rëndësishme e indeksit të përthyerjes është se në të gjitha mjediset e ndryshme nga vakumi, vlera e tij varet nga gjatësia valore e dritës. Meqenëse indeksi i përthyerjes është funksion i gjatësisë valore, drita me gjatësi valore të ndryshme përthyeret me kënde të ndryshme gjatë kalimit nga një mjedis në tjetrin. Me rritjen e gjatësisë valore, indeksi i përthyerjes zvogëlohet. Prandaj, drita me gjatësi valore më të shkurtër (për shembull, drita e kaltër ose vjollcë) ka indeks më të madh të përthyerjes dhe përthyeret më shumë se drita me gjatësi valore më të madhe (për shembull, drita e kuqe).

Kur drita e bardhë kalon nëpër një prizëm, ngjyrat e ndryshme përthyeren në mënyra të ndryshme, përkatësisht drita e bardhë zbërthehet. Kështu fitohet spektri i dukshëm, i përbërë, sipas rendit të zvogëlimit të gjatësisë valore, nga drita e kuqe, e portokalltë, e verdhë, e gjelbër, e kaltër, e kaltër e errët dhe vjollcë.

Zbërthimi i dritës së bardhë në ngjyra quhet **dispersion i dritës**.



Figura 3. Dispersioni i dritës së bardhë nëpër një prizëm trekëndor



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Një tufë drite bie mbi një mjedis prej qelqi me kënd 30° . Njëkohësisht bien drita e kuqe, me gjatësi valore 630 nm, dhe drita e kaltër, me gjatësi valore 440 nm. Indeksset e përthyerjes për dritën e kuqe dhe të kaltër janë: $n_u = 1,32$ dhe $n_c = 1,38$. Të përcaktohet dallimi ndërmjet këndeve të përthyerjes së dy dritave.

Zgjidhje:

Do të përdorim Ligjin e përthyerjes së dritës.: $\sin \alpha = n \sin \beta$.

$$\text{Drita e kuqe: } \sin \beta_u = \frac{\sin 30^\circ}{1,32} = 0,379, \quad \beta_u = 22,3^\circ.$$

$$\text{Drita e kaltër: } \sin \beta_c = \frac{\sin 30^\circ}{1,38} = 0,362, \quad \beta_c = 21,2^\circ. \text{ Dallimi ndërmjet këndeve të përthyerjes :}$$

$$\Delta\beta = \beta_u - \beta_c = 1,1^\circ.$$

Edhe pse të dyja dritat bien me të njëjtin kënd, ato përthyeren me kënde të ndryshme, sepse indeksi i përthyerjes varet nga gjatësia valore. Drita e kaltër, e cila ka gjatësi valore më të shkurtër, përthyeret më shumë se drita e kuqe. Ky dallim ndërmjet këndeve të përthyerjes përbën bazën fizike të dukurisë së dispersionit të dritës

Dispersioni i dritës mund të shpjegohet me anë të prizmit, i cili është një trup i tejdukshëm i kufizuar nga dy sipërfaqe të rrafshëta dhe të pjerrëta, nëpër të cilat drita përthyeret gjatë hyrjes dhe daljes (figura 3). Në vizatime, prizmi paraqitet më shpesh me prerje tërthore trekëndore, sepse këndi ndërmjet këtyre dy sipërfaqeve përcakton ndryshimin e përgjithshëm të kahjes së rrezes së dritës, përkatësisht devijimin e saj.

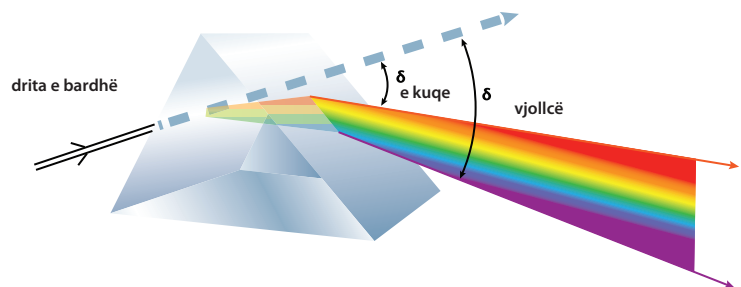


Figura 4. Paraqitje skematike e këndit të devijimit të dritës së kuqe dhe të dritës vjollcë

Kur drita e bardhë kalon nëpër prizëm, ngjyrat e ndryshme përthyhen me kënde të ndryshme. Këndi ndërmjet kahjes së rrezes rënëse dhe kahjes së rrezes dalëse quhet **këndi i devijimit**

Praktikisht, ky është këndi ndërmjet zgjatimeve të rrezes rënëse dhe rrezes dalëse. Meqenëse indeksi i përthyerjes varet nga gjatësia valore, këndi i devijimit nuk është i njëjtë për të gjitha ngjyrat (figura 4). Në figurën 5 është paraqitur kalimi i rrezes së dritës nëpër prizëm. Simbolet e përdorura dhe kuptimet e tyre janë dhënë në tabelën 1

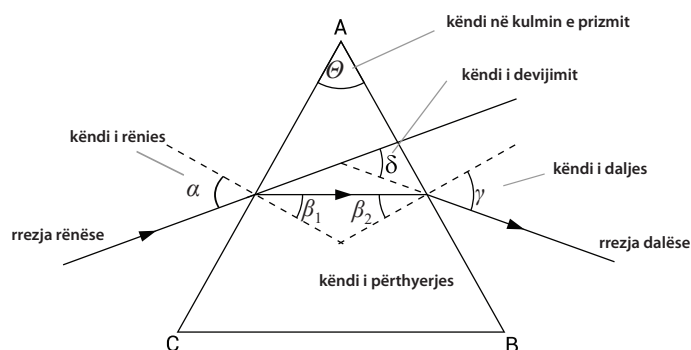


Figura 5. Përthyerja e një rrezeje nëpër prizëm. Në skemë janë shënuar elementet kryesore

Simboli	Kuptimi
α	këndi i rënies në sipërfaqen e parë ndarëse (këndi ndërmjet rrezes rënëse dhe normales)
β_1	këndi i përthyerjes në sipërfaqen e parë ndarëse
β_2	këndi i rënies në sipërfaqen e dytë ndarëse
γ	këndi i daljes (këndi ndërmjet rrezes dalëse dhe normales ndaj sipërfaqes së dytë)
θ (lexohet “teta”)	këndi në kulmin e prizmit
δ (lexohet, “delta”)	këndi i devijimit (ndryshimi i përgjithshëm i kahjes së rrezes)

Tabela 1. Simbolet e përdorura dhe kuptimi i tyre gjatë përthyerjes së dritës nëpër prizëm

Për një prizëm me kënd të vogël në kulm θ , atë vendosur në ajër, këndi i devijimit δ llogaritet me formulën:

$$\delta \approx (n-1)\theta$$

Prej kësaj rrjedh se këndi i devijimit nuk është i njëjtë për të gjitha ngjyrat sepse indeksi i përthyerjes varet nga gjatësia valore e dritës.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Një prizëm i hollë ka kënd në kulm $\theta = 6^\circ$. Nëpër prizëm kalojnë drita e kuqe me gjatësi valore 630 nm dhe drita e kaltër me gjatësi valore 440 nm. Indeksët e përthyerjes për të dyja dritat janë: $n_{\text{sinja}} = 1,38$ $n_{\text{kuqe}} = 1,32$. Duke përdorur relacionin e përafërt për prizmin e hollë, të përcaktohet devijimi minimal për të dyja dritat dhe dallimi ndërmjet tyre.

Zgjidhje:

drita e kaltër: $\delta_{\text{min, e kaltër}} \approx (1,38 - 1) \cdot 6^\circ = 0,38 \cdot 6^\circ = 2,28^\circ$.

drita e kuqe: $\delta_{\text{min, e kuqe}} \approx (1,32 - 1) \cdot 6^\circ = 0,32 \cdot 6^\circ = 1,92^\circ$.

ndryshimi ndërmjet devijimeve: $\Delta\delta_{\text{min}} = \delta_{\text{min, e kaltër}} - \delta_{\text{min, e kuqe}} = 2,28^\circ - 1,92^\circ = 0,36^\circ$.

Ky ndryshim i vogël ndërmjet këndeve është shkak i fizik për të cilin drita e bardhë zbërthehet në spektër. Megjithatë këndet e veçanta janë të vogla, në një largësi më të madhe nga prizmi ato çojnë në ndarjen qartësisht të dukshme të përbërësve të dritës, dukuri që shfrytëzohet në fizikë dhe në astronomi



AKTIVITETI 1.

Qëllimi: Të shqyrtohet varësia e këndit të devijimit δ nga këndi rënës α te prizmi.

Aparatura: burim lazeri me tufë lineare, prizëm, këndmatës, fletë letre dhe laps.

Kujdes! Mos shiko asnjëherë drejtpërdrejt në rrezen e lazerit.

Procedura:

1. Prizmi vendoset mbi një fletë letre dhe vizatohet kontura e tij.
2. Drejt njëres faqe të prizmit kahëzohet tufa e lazerit. Në fletë shënohen të paktën dy pika të rrezes rënëse dhe dy pika të rrezes dalëse.
3. Prizmi largohet dhe nëpër pikat e shënuara, vizatohen rrezja rënëse dhe rrezja dalëse. Më pas vizatohen normalet ndaj të dyja sipërfaqeve ndarëse.
4. Me këndmatës maten këndi rënës α dhe këndi i daljes γ , në raport me normalet përkatëse.
5. Shënohet këndi i devijimit δ dhe matet me këndmatës.
6. Lazeri zhvendoset për të fituar një kënd të ri rënës. Më pas, procedura përsëritet për disa vlera të këndit rënës.
7. Rezultatet shënohen në tabelë
8. Varësia e këndit të devijimit δ nga këndi rënës α cparaqitet grafikisht.
9. Në bazë të grafikut, përgjigju pyetjeve të mëposhtme:

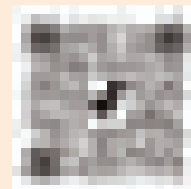
N	α (°)	γ (°)	δ (°)
1	30°		
2	40°		
...			

- a) Si ndryshon këndi i devijimit me rritjen e këndit rënës?
- b) Për cilën vlerë të α këndi i devijimit është më i vogël?
- c) Cila është lidhja ndërmjet këndit rënës dhe këndit të daljes gjatë devijimit minimal?
- d) Për cilën vlerë të α fitohet vlera më e vogël e δ ? Sa është vlera e këndit γ për atë kënd rënës?

Vërejtje:

E njëjta veprimtari mund të realizohet me simulimin PhET Bending Light (regjimi Prisms). Duke aktivizuar opsionin protractor, këndet mund të maten drejtpërdrejt. Simulimin mund ta gjeni në faqen e internetit:

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/bending-light>.



PYETJE DHE DETYRA

1. A është drita e bardhë polikromatike? A është çdo dritë polikromatike e bardhë?
2. Pse drita monokromatike nuk zbërthehet në ngjyra gjatë kalimit nëpër prizëm?
3. Si do të ndryshojë këndi i devijimit nëse prizmi është i përbërë nga një material me indeks më të madh të përthyerjes?
4. Si do të dukej dispersioni nëse indeksi i përthyerjes nuk do të varej nga gjatësia valore?
5. A është e mundur që dy prizma të ndryshme të japin të njëjtin kënd devijimi për të njëjtën gjatësi valore? Nga çfarë do të varej kjo?
6. Te një prizëm trekëndor, këndi në kulm është 50° . Gjatë një eksperimenti u matën këndi rënës 35° dhe këndi i devijimit 25° .
 - a) Të përcaktohet këndi i daljes.+.

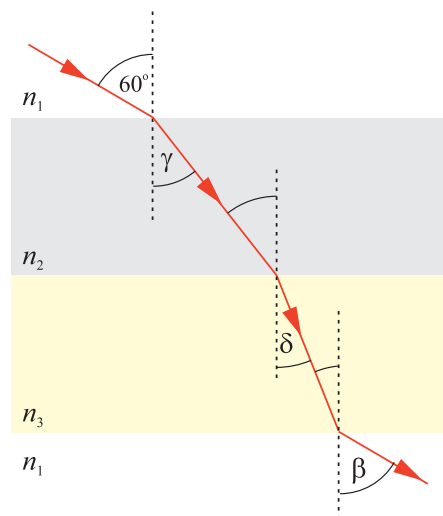
6) Nëse në të njëjtin eksperiment matet se këndi rënës është rritur për 10° , ndërsa këndi në kulmin e prizmit mbetet i njëjtë, sa do të jetë këndi i devijimit nëse këndi i daljes mbetet i njëjtë si në pikën a)? Shpjego. (Zgjidhja: $40^\circ, 35^\circ$)

7. Mbi një prizëm trekëndor me kënd në kulm 45° bien dy rreze monokromatike, një e kuqe dhe një e kaltër, me të njëjtin kënd rënieje prej 30° . Indekset e përthyerjes të materialit janë: $n_{\text{kuge}} = 1,32$ dhe $n_{\text{kaltër}} = 1,38$. Të përcaktohet dallimi ndërmjet këndeve të daljes. (Zgjidhja: $3,3^\circ$)

Tema 3: PYETJE DHE DETYRA

1. Çfarë teorish ekzistojnë për natyrën e dritës? Shpjegoji dhe krahasoji ato.
2. Dy valë elektromagnetike përhapen në vakum. Cila prej tyre lëviz më shpejt: ajo me frekuencë më të madhe apo ajo me frekuencë më të vogël?
3. Drita përhapet me shpejtësi të ndryshme në mjedise të ndryshme. Renditi mjediset e mëposhtme sipas shpejtësisë së dritës nëpër to, duke filluar nga mjedisi në të cilin ajo është më e vogël: ajër, diamant, vakum, ujë.
4. Pse një shëmbëllim virtual i një objekti mund të shihet me sy ose të fotografohet?
5. Përfytyro se dëshiron të ndezësh zjarr duke fokusuar dritën e Diellit mbi një copë letre me një pasqyrë të lugët. Në çfarë largësie nga pasqyra duhet të mbahet letra për të arritur rezultatin më të mirë?
6. Te pllaka planparalele, rrezja dalëse është paralele me rrezen rënëse. A do të thotë kjo se nuk ndodh përthyerja? Shpjego.
7. Një pllakë planparalele prej qelqi ka trashësi 8 cm dhe indeks përthyerjeje 1,50. Një rreze drite bie me kënd 30° . Sa do të zhvendoset anash rrezja gjatë daljes nga pllaka? (Zgjidhja: 1,6 cm)
8. Pse te thjerra shpërndarëse shëmbëllimi ndodhet gjithmonë ndërmjet thjerrës dhe fokusit?
9. Nëse te një thjerrë shpërndarëse largësia e shëmbëllimit l është negative, ku do të ndodhet ai në raport me objektin?
10. Si do të ndryshojë këndi i devijimit nëse prizmi është i përbërë nga një material me indeks më të madh të përthyerjes?
11. Nëse antena e një radiomarrësi ka gjatësi afërsisht 75 cm, cili është rendi i madhësisë së frekuencës në të cilën punon marrësi? (Zgjidhja: 300 MHz)
12. Madhësia vit-dritë përkufizohet nëpërmjet shpejtësisë së dritës: një vit-dritë është largësia që përshkon drita në vakum gjatë një viti. Llogarit sa metra përmban një vit-dritë. (Zgjidhja: $9,46 \cdot 10^{15}$ m)
13. Një rreze drite bie mbi një pasqyrë të rrafshët dhe pasqyrohet sipas Ligjit të pasqyrit. Në pozitën fillestare, këndi ndërmjet rrezes rënëse dhe rrezes së pasqyruar është 23° . Më pas, pasqyra rrotullohet në mënyrë që këndi i rënies të rritet për 10° , ndërsa pozita e burimit të dritës mbetet e pandryshuar. Sa do të jetë këndi i ri ndërmjet rrezes rënëse dhe rrezes së pasqyruar pas rrotullimit të pasqyrës? (Zgjidhja: 43°)
14. Është dhënë një pasqyrë sferike, largësia fokale e së cilës është dy herë më e vogël se largësia e objektit nga pasqyra.
 - a) Shprehe zmadhimin nëpërmjet raportit $\frac{p}{f}$.
 - b) Shqyrto veçmas rastin e pasqyrës së lugët dhe atë të pasqyrës së mysët.
 - c) A është e mundur që zmadhimi të ketë të njëjtën vlerë në të dyja rastet?
 (Zgjidhja: a) $\frac{p}{f} - 1$; b) 1: shëmbëllim real, i përmbysur dhe me të njëjtën madhësi si objekti; $1/3$: shëmbëllim virtual, i drejtë dhe i zvogëluar; c) jo)

15. Disa aparate fotografike përdorin si objektiv një pasqyrë në vend të thjerrës. Sa duhet të jetë rrezja e lakimit e një pasqyre konkave që të zëvendësojë një thjerrë me largësi fokale 0,8 m? (Zgjidhja: 1,6 m)
16. Objektivi zmadhues i një aparati fotografik ka largësi fokale të ndryshueshme nga 80,0 mm deri në 200 mm. Përcakto vlerën minimale dhe maksimale të fuqisë optike të objektivit. (Zgjidhja: $5\text{ D} < J < 12,5\text{ D}$)
17. Një objekt me lartësi 5 cm është vendosur në largësi 12 cm nga një thjerrë shpërndarëse me largësi fokale -8 cm . Të përcaktohen:
- largësia e shëmbëllimit nga thjerra;
 - zmadhimi i shëmbëllimit;
 - lartësia dhe karakteristikat e shëmbëllimit
- (Zgjidhja: a) $l = -4,8\text{ cm}$; b) $U = 0,4$; c) $h_i = 2\text{ cm}$, është i zvogëluar dhe virtual)
18. 17. Një rreze lazeri kalon nga ajri, indeksi i përrhyerjes i të cilit është 1, nëpër dy pllaka planparalele të vendosura njëra mbi tjetrën, siç është paraqitur në figurën djathtas. Indeksi i përrhyerjes i pllakës së parë është 1,33, ndërsa ai i pllakës së dytë është 1,5. Përcakto këndet e panjohura në vizatim. Me çfarë këndi del rrezja nga pllaka e dytë planparalele? (Zgjidhja: $\gamma = 40,6^\circ$, $\delta = 35,3^\circ$, $\beta = 60^\circ$)
19. 18. Një fibër optike është e përbërë nga qelq flint me indeks përrhyerjeje 1,66 dhe është e veshur me qelq crown me indeks 1,52. Sa është këndi kufitar për pasqyrimin total? (Zgjidhja 66°)
20. 18. Një fibër optike është e përbërë nga qelq flint me indeks përrhyerjeje 1,66 dhe është e veshur me qelq crown me indeks 1,52. Sa është këndi kufitar për pasqyrimin total? (Zgjidhja 66°)



TEMA 4:

Fizika atomike dhe bërthamore

Materia që na rrethon është e ndërtuar nga grimca me përmasa jashtëzakonisht të vogla, sjellja e të cilave nuk mund të shpjegohet plotësisht me ligjet e fizikës klasike. Për të kuptuar ndërtimin e atomeve dhe proceset që zhvillohen në bërthamat e tyre, nevojitet një qasje tjetër fizike.

Fusha e fizikës që studion ndërtimin dhe vetitë e atomeve quhet fizikë atomike, ndërsa ajo që studion bërthamat dhe proceset që zhvillohen në to quhet fizikë bërthamore. Në këtë temë do të njihesh me modelet atomike, nivelet energjetike dhe spektrat, me bashkëveprimin e rrezatimit me materien, si dhe me strukturën dhe vetitë e bërthamës atomike.

Do të shqyrtohen dukuri të tilla si zbërthimi radioaktiv, reaksionet bërthamore dhe rrezatimi jonizues, si dhe zbatimet dhe pasojat e tyre. Njohuritë nga fizika atomike dhe bërthamore kanë rëndësi thelbësore në mjekësi, energjetikë, industri dhe shkencë. Ato mundësojnë kuptimin më të thellë të mikrobotës dhe të ndikimit të saj mbi botën që vëzhgojmë.

Rezultatet e të nxënit

Nxënësi/nxënësja do të jetë i/e aftë:

1. të shpjegojë dukurinë e rrezatimit termik dhe t'i zbatojë ligjet e tij në shembuj nga jeta e përditshme;
2. të shpjegojë efektin fotoelektrik, të interpretojë barazimin e Ajnshtajnit dhe ta lidhë parimin e funksionimit të fotoqelizave me zbatimin e tyre në teknologji;
3. të shpjegojë krijimin dhe spektrin e rrezeve X, të japë shembuj të zbatimit të tyre dhe të përshkruajë efektet e ekspozimit ndaj rrezatimit me rreze X;
4. të analizojë eksperimentin e Raderfordit dhe të krahasojë modelin atomik të Raderfordit me atë të Borit;
5. të analizojë spektrat e përthithjes dhe të emetimit të atomit dhe t'i lidhë ata me kalimet e elektroneve në atom;
6. të shpjegojë ndërtimin e bërthamës atomike, të dallojë izotopet, izobaret dhe izotonet, të interpretojë simbolet e bërthamës atomike dhe të shpjegojë rëndësinë e forcave të forta bërthamore për qëndrueshmërinë e bërthamave;
7. të shpjegojë dhe të zbatojë ligjet e zbërthimit radioaktiv të bërthamës, të krahasojë rrezet α , β dhe γ si dhe të vlerësojë energjinë dhe fuqinë e tyre depërtuese;
8. të analizojë defektin e masës dhe energjinë e lidhjes së bërthamës atomike, të kryejë llogaritje dhe të interpretojë grafikun e varësisë së energjisë specifike të lidhjes nga numri i masës;
9. të shpjegojë dhe të krahasojë reaksionet bërthamore, fisionin dhe fuzionin, si dhe të vlerësojë pasojat e tyre energjetike dhe ekologjike për zhvillimin e qëndrueshëm.

4.1. Rrezatimi i trupit absolutisht të zi

Në temën e mëparshme thamë se drita është valë elektromagnetike dhe se mund të ketë gjatësi valore të ndryshme. Pamë se drita e bardhë, gjatë kalimit nëpër prizëm, zbërthehet në ngjyra të ndryshme. Këtë dukuri e quajtmë dispersion të dritës. Megjithatë, ngjyrat që shohim me sy përbëjnë vetëm një pjesë të vogël të spektrit të plotë të valëve elektromagnetike. Përveç dritës së dukshme, ekzistojnë edhe valë elektromagnetike që nuk mund t'i shohim, por mund t'i ndiejmë. Shembull i tillë është rrezatimi termik. Për shembull, hyn në kuzhinë dhe dëshiron të vendosësh diçka mbi pllakën ngrohëse, por nuk e di nëse ajo është e nxehtë. Në vend që ta prekësh, afron pëllëmbën dhe ndien nëse prej saj vjen nxehtësi. Edhe pse nuk ka kontakt të drejtpërdrejtë me pllakën ngrohëse, ndjesia e nxehtësisë të tregon qartë nëse ajo është e nxehtë apo jo.

Edhe pse nxehtësinë e ndiejmë, nuk mund ta shohim drejtpërdrejt. Sot ekzistojnë pajisje që e regjistrojnë këtë rrezatim dhe e shndërrojnë në figurë. Kamera termike e “përkthen” rrezatimin termik në ngjyra, ku pjesët më të ngrohta dhe më të ftohta paraqiten me ngjyra dhe nuanca të ndryshme (figura 1).

Të gjithë trupat me temperaturë më të lartë se zeroja absolute rrezatojnë energji. Sasia dhe vetitë e rrezatimit që emeton një trup varen nga temperatura e tij. Kur temperatura është e ulët, zakonisht nuk mund ta vërejmë rrezatimin me sy, por me rritjen e temperaturës ai bëhet i dukshëm. Për shembull, gjatë nxehtësisë, metali fillimisht ndriçon me ngjyrë të kuqe të errët, pastaj me të kuqe më të ndritshme, të portokalltë dhe të verdhë, ndërsa në temperatura shumë të larta emeton dritë të bardhë. Kjo mund të vërehet me sy të lirë te trupat e nxehtë në temperatura të larta, siç është prushi, ngjyra e të cilit ndryshon me temperaturën (figura 2).

Kur një trup rrezaton, ai lëshon ose emeton energji në mjedisin përreth. Njëkohësisht, trupi mund të marrë energji nëpërmjet rrezatimit që bie mbi të. Këto dy procese të ndërlidhura quhen **emetim dhe absorbim**. Sasia e energjisë që trupi do të emetojë ose do të marrë varet nga temperatura dhe nga vetitë e sipërfaqes së tij.

Energjia totale që trupi emeton në të gjitha gjatësitë valore quhet aftësi emetuese integrale (ose intensitet integral i rrezatimit). Ajo tregon sasinë e energjisë që trupi emeton nga njësia e sipërfaqes gjatë një sekonde, duke marrë parasysh emetimin në të gjitha gjatësitë valore të spektrit elektromagnetik. Kjo shprehet me formulën:

$$E_T = \frac{E}{St},$$

ku E është energjia e emetuar, S është syprina e trupit, ndërsa t është intervali kohor gjatë të cilit trupi emeton energjinë E .



Figura 1. Çajnik i vendosur mbi një pllakë ngrohëse. Nuancat e ndryshme tregojnë temperaturat e ndryshme të pjesëve të çajnikut. Pjesët e paraqitura me të bardhë dhe të kuqe kanë temperaturën më të lartë, ndërsa pjesët e paraqitura me të kaltër kanë temperaturën më të ulët.

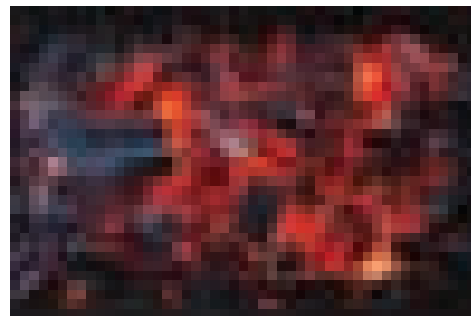


Figura 2. Copëza qymyri të nxehtë në temperatura të ndryshme. Ngjyrat e ndryshme tregojnë temperatura të ndryshme të nxehtësisë.

Përveçse rrezatojnë, trupat njëkohësisht absorbojnë edhe rrezatimin elektromagnetik që bie mbi ta. Aftësia e përgjithshme absorbuese (a_T) **tregon se cilën pjesë të rrezatimit të përgjithshëm rënës e absorbon trupi**. Nëse mbi trup bie rrezatim me energji E_{vk} , në njësi të kohës dhe në njësi të sipërfaqes, ndërsa trupi absorbon energjinë E_a në njësi të kohës për njësi sipërfaqeje, atëherë aftësia e përgjithshme absorbuese llogaritet me formulën:

$$a_T = \frac{E_a}{E_{vk}}.$$

Aftësia e përgjithshme absorbuese është madhësi pa dimension dhe mund të ketë vlera ndërmjet 0 dhe 1:

- nëse $a_T = 0$, trupi nuk absorbon rrezatimin që bie mbi sipërfaqen e tij;
- nëse $a_T = 1$, trupi absorbon të gjithë rrezatimin që bie mbi sipërfaqen e tij.

Megjithatë, trupat nuk i emetojnë dhe nuk i absorbojnë njëllë të gjitha gjatësitë valore të rrezatimit elektromagnetik. Disa gjatësi valore emetohen me intensitet më të madh dhe njëkohësisht trupi e absorbon më mirë rrezatimin pikërisht në ato gjatësi valore.

Për të përshkruar varësinë e intensitetit të rrezatimit nga gjatësia valore, përdoret madhësia **aftësia emetuese spektrale (ose intensiteti spektral i rrezatimit)** $E_{T\lambda}$. Ajo tregon sasinë e energjisë që trupi emeton në formën e rrezatimit elektromagnetik, në një interval shumë të vogël të gjatësisë valore $\Delta\lambda$, nga njësia e sipërfaqes në njësi të kohës, kur trupi është i nxehtë në temperaturën T . Në mënyrë analoge, **aftësia absorbuese spektrale** ($a_{T\lambda}$) përshkruan sasinë e energjisë që trupi absorbon në formën e rrezatimit elektromagnetik, në një interval shumë të vogël të gjatësisë valore $\Delta\lambda$, në njësi të sipërfaqes dhe në njësi të kohës. Këto madhësi varen nga gjatësia valore, temperatura e trupit dhe vetitë e sipërfaqes së tij. Si përmbledhje, madhësitë janë paraqitur në tabelën 1.

Madhësia	Çfarë përshkruan	Nga çfarë varet	Kuptimi fizik
Aftësia e përgjithshme emetuese (E_T)	Energjia totale që rrezaton trupi në të gjitha gjatësitë valore	Vetëm nga temperatura (T)	Sa është energjia totale që emeton trupi nga njësia e sipërfaqes në njësi të kohës
Aftësia emetuese spektrale ($E_{T\lambda}$)	Energjia që rrezaton trupi në një interval të gjatësisë valore $\Delta\lambda$	Nga gjatësia valore (λ) dhe nga temperatura (T)	Sa energji emeton trupi në një interval të caktuar e të vogël të gjatësisë valore, nga njësia e sipërfaqes në njësi të kohës
Aftësia e përgjithshme absorbuese (a_T)	Pjesa e energjisë totale të rrezatimit rënës që absorbon trupi	Nga materiali dhe nga vetitë e sipërfaqes	Sa pjesë e energjisë së përgjithshme që bie mbi trup, për njësi sipërfaqeje dhe në njësi të kohës absorbohet
Aftësia absorbuese spektrale ($a_{T\lambda}$)	Pjesa e energjisë së rrezatimit rënës që absorbon trupi në një interval të vogël të gjatësisë valore $\Delta\lambda$	Nga gjatësia valore (λ) dhe nga vetitë e materialit	Sa energji absorbon trupi në një interval të caktuar e të vogël të gjatësisë valore, në njësi të sipërfaqes në njësi të kohës

Tabela 1. Emetimi dhe absorbimi i rrezatimit termik – përmbledhje

Toka merr vazhdimisht energji nga Dielli, ku një pjesë e kësaj energjie absorbohet dhe ngroh sipërfaqen dhe atmosferën e saj. Njëkohësisht, Toka rrezaton energji termike drejt hapësirës përreth. Fakti që Toka jo vetëm absorbon, por edhe emeton energji, mund të vërtetohet me matjet e kryera nga Hëna.

Nga ana e saj e errët mund të regjistrohet rrezatimi termik që emeton Toka, edhe pse Dielli nuk e ndriçon atë anë të Hënës (figura 3). Kjo tregon qartë se një trup që merr energji, njëkohësisht edhe e emeton atë nëpërmjet rrezatimit termik.

Kur flasim për emetimin dhe absorbimin e rrezatimit, natyrshëm shtrihet pyetja: a ekziston ndonjë trup që e absorbon plotësisht çdo rrezatim që bie mbi të? Modeli i një trupi të tillë ideal quhet trup absolutisht i zi. Trupi absolutisht i zi është një trup që absorbon të gjithë energjinë e rrezatimit elektromagnetik rënës, pavarësisht nga gjatësia valore e tij. Kjo do të thotë se një trup i tillë nuk pasqyron asnjë rrezatim dhe për këtë arsye, kur ndriçohet duket i zi (figura 4).

Fjala absolutisht tregon se aftësia absorbuese spektrale për të gjitha gjatësitë valore është 1, prej nga rrjedh se edhe aftësia absorbuese integrale është e barabartë me 1.

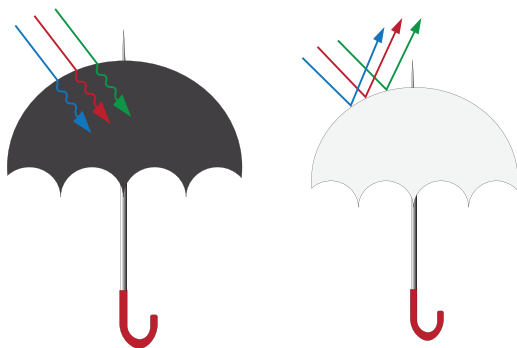


Figura 4. Trupat e zinj e absorbojnë dritën në të gjitha gjatësitë valore, ndërsa trupat e bardhë e pasqyrojnë atë

Për shkak të kësaj vetie, yjet janë ndër shembujt natyrorë më të përafërt të trupit absolutisht të zivë. Edhe pse nuk janë trupa absolutisht të zinj të përsosur, rrezatimi i tyre përshkruhet shumë mirë me këtë model, sepse shtresat e tyre të dendura dhe të nxehta absorbojnë dhe emetojnë fuqishëm rrezatim në të gjitha gjatësitë valore.

Në laborator, trupi absolutisht i zi mund të modelohet me një sferë metalike, muret e brendshme të së cilës janë nxirë, përkatësisht janë mbuluar me blozë, ndërsa sfera ka një hapje të vogël. Rrezatimi që hyn nëpër këtë hapje absorbohet plotësisht brenda sferës, pas pasqyrimeve të shumta nga muret e saj të brendshme. Për këtë arsye, hapja e zgavrës sillet si një sipërfaqe që absorbon rrezatimin në të gjitha gjatësitë valore, përkatësisht ka vetitë e një trupi absolutisht të zivë. Në ekuilibër termodinamik, rrezatimi që del nëpër hapje përcaktohet vetëm nga temperatura e zgavrës dhe nuk varet nga materiali i mureve. Prandaj, rrezatimi që emetohet nëpër hapje është rrezatim termik, si ai i një trupi absolutisht të zivë.

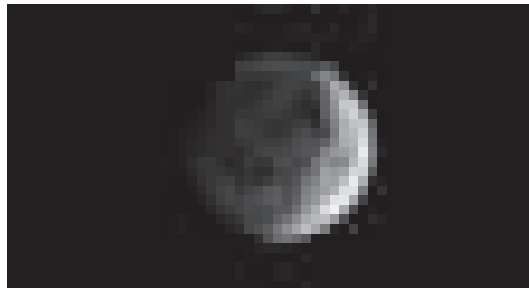


Figura 3. Ana e errët e Hënës nuk është aq e errët sa na duket

Në natyrë nuk ekziston trup absolutisht i zi, përkatësisht çdo trup pasqyron të paktën një pjesë të energjisë që bie mbi të. Megjithatë një trup i tillë nuk ekziston në natyrë, ky nocion është jashtëzakonisht i rëndësishëm, sepse na mundëson ta studiojmë rrezatimin termik në formën e tij më të thjeshtë. Meqenëse trupi absolutisht i zi nuk e pasqyron rrezatimin që bie mbi sipërfaqen e tij, i gjithë rrezatimi që ai emeton buron vetëm nga vetë trupi dhe varet vetëm nga temperatura e tij. Te trupat fizikë, rrezatimi i emetuar zakonisht është kombinim i rrezatimit vetjak dhe i rrezatimit të pasqyruar që bie mbi ta nga mjedisi përreth. Te trupi absolutisht i zi, një kontribut i tillë nuk ekziston.

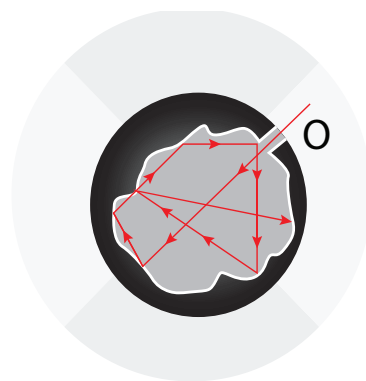


Figura 5. Hapja e një sfere, pjesa e brendshme e së cilës është e mbuluar me blozë, ka vetitë e një trupi absolutisht të zivë

Ligjet e rrezatimit termik

Spektri i rrezatimit termik

Kur një trup rrezaton, ai nuk e emeton të gjithë energjinë vetëm në një gjatësi valore, por njëkohësisht rrezaton valë elektromagnetike me gjatësi valore të ndryshme. Shpërndarja e energjisë së emetuar sipas gjatësive valore quhet spektri i rrezatimit termik. Në figurën 6 është paraqitur spektri i rrezatimit të trupit absolutisht të zi, të nxehur në temperatura të ndryshme. Nga grafiku mund të vërehet se trupi absolutisht i zi rrezaton energji në të gjitha gjatësitë valore. Megjithatë, intensiteti spektral i rrezatimit nuk është i njëjtë për të gjitha gjatësitë valore dhe ndryshon edhe në varësi të temperaturës së trupit absolutisht të zi.

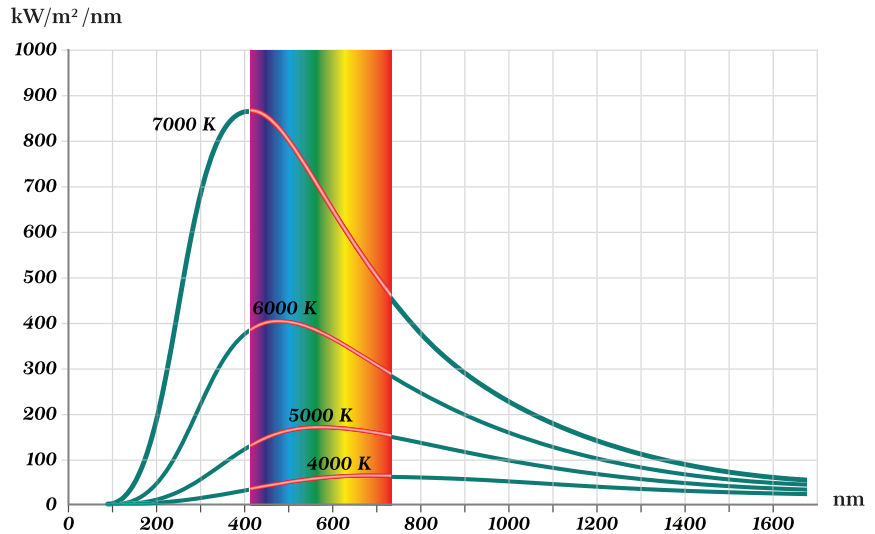


Figura 6. Varësia e aftësisë emetuese spektrale nga gjatësia valore. Çdo vijë paraqet rrezatimin e trupit absolutisht të zi me temperaturë të ndryshme. Pjesa e ngjyrosur në sfond tregon intervalin e gjatësive valore të dritës së dukshme.

Spektri i tillë, në të cilin rrezatimi është i pranishëm në të gjitha gjatësitë valore, quhet **spektër i vazhdueshëm**.

Nga grafiku mund të lexohet aftësia emetuese spektrale e trupit në intervale të ndryshme të gjatësisë valore. Përkatësisht, për çdo gjatësi valore mund të përcaktohet sa energji emeton trupi në njësi të kohës nga njësia e sipërfaqes. Me fjalë të tjera, lartësia e lakores për një gjatësi valore të caktuar tregon intensitetin e rrezatimit në atë gjatësi valore.

Nga syprina nën lakore, për një temperaturë të caktuar, mund të përcaktohet aftësia emetuese integrale e trupit, përkatësisht energjia totale që ai rrezaton në të gjitha gjatësitë valore.

1. rritet energjia totale që rrezaton trupi në njësi të kohës nga njësia e sipërfaqes (syprina nën lakore zmadhohet);
2. maksimumi i rrezatimit zhvendoset drejt gjatësive valore më të shkurtra.

Këto përfundime janë nxjerrë drejtpërdrejt nga analiza e grafikut të varësisë së aftësisë emetuese spektrale nga temperatura e trupit absolutisht të zi dhe përbëjnë bazën për formulimin e ligjeve të rrezatimit termik. Është e rëndësishme të theksohet se spektri i rrezatimit të trupit absolutisht të zi varet vetëm nga temperatura dhe jo nga materiali prej të cilit është ndërtuar trupi. Për këtë arsye, trupi absolutisht i zi përbën modelin themelor për studimin e rrezatimit termik dhe për formulimin e ligjeve të përgjithshme që vlejnë për rrezatimin e të gjithë trupave fizikë.



AKTIVITETI 1.

Spektri i rrezatimit termik

Vegla: PhET simulimi Spektri i trupit absolutisht i zi (Blackbody Spectrum)

Linku: https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_all.html

Në këtë aktivitet do të hulumtoni spektrin e rrezatimit termik të trupit absolutisht të zi me ndihmën e një simulimi kompjuterik.

1. Hapeni simulimin dhe vendoseni temperaturën në 4000 K. Vëzhgoni formën e spektrit dhe pozitën e maksimumit të rrezatimit.
2. Rriteni gradualisht temperaturën (5000 K, 6000 K, 7000 K) dhe krahasojini spektrat.
3. Vëreni se si ndryshojnë:
 - lartësia e lakores (intensiteti i rrezatimit);
 - pozita e maksimumit të rrezatimit në raport me gjatësinë valore.
4. Aktivizoni shënimin e pjesës së dukshme të spektrit dhe përcaktoni temperaturën në të cilën pjesa më e madhe e energjisë rrezatohet në zonën e dukshme.

Pyetje për reflektim:

- Si ndryshon energjia totale që rrezaton trupi me rritjen e temperaturës?
- Në cilën kahje zhvendoset maksimumi i rrezatimit kur temperatura rritet?
- Pse trupat shumë të nxehtë mund të ndriçojnë me dritë të dukshme, ndërsa trupat më të ftohtë jo?

Ligji i Kirhofit për rrezatimin termik

Kur një trup ndodhet në ekuilibër termodinamik me mjedisin përreth, ai njëkohësisht absorbon dhe emeton rrezatim elektromagnetik. Eksperimentet tregojnë se këto dy procese nuk janë të pavarura: trupat që e absorbojnë mirë rrezatimin në një gjatësi valore të caktuar, në të njëjtat kushte emetojnë mirë rrezatim në atë gjatësi valore. Kjo lidhje përshkruhet me Ligjin e Kirhofit për rrezatimin termik: për një temperaturë dhe një gjatësi valore të caktuar, raporti ndërmjet aftësisë emetuese spektrale dhe aftësisë absorbuese spektrale është i njëjtë për të gjithë trupat dhe varet vetëm nga temperatura dhe gjatësia valore.

$$\frac{E_{T,\lambda}}{a_{T,\lambda}} = E_{T,\lambda}^{(0)},$$

ku $E_{T,\lambda}$ është aftësia emetuese spektrale e trupit të $a_{T,\lambda}$ është aftësia e tij absorbuese spektrale ndërsa $E_{T,\lambda}^{(0)}$ është aftësia emetuese spektrale e trupit absolutisht të zi, të nxehur në të njëjtën temperaturë. Ky barazim ka një kuptim të qartë fizik: nëse një trup e absorbon dobët rrezatimin në një gjatësi valore të caktuar, pra (ka vlerë të vogël $a_{T,\lambda}$), atëherë ai do të emetojë dobët në atë gjatësi valore, pra (do të ketë vlerë të vogël edhe $E_{T,\lambda}$). Edhe e kundërta është e vërtetë: një absorbues i mirë i rrezatimit është edhe emetues i mirë.

Në rastin kufitar të trupit absolutisht të zi, aftësia absorbuese është $a_{T,\lambda} = a_T = 1$, ndërsa emetimi i tij është maksimal. Prandaj, spektri i rrezatimit të trupit absolutisht të zi shërben si spektër referues për krahasim me të gjithë trupat realë. Ligji i Kirhofit tregon se spektri i rrezatimit të trupit absolutisht të zi nuk varet nga materiali, por vetëm nga temperatura. Kjo mundëson që ligjet e rrezatimit termik fillimisht të formulohen për trupin absolutisht të zi dhe më pas të zbatohen edhe për trupat realë.

Ligji i Stefan–Bolcmanit

Nga spektrat e rrezatimit termik, siç është paraqitur në figurën 6, mund të përcaktohet aftësia e përgjithshme emetuese e trupit, përkatësisht energjia totale që rrezaton trupi në të gjitha gjatësitë valore, në njësi të kohës nga njësia e sipërfaqes. Ajo është e barabartë me syprinën nën lakoren e aftësisë emetuese spektrale. Eksperimentet kanë treguar se, për trupin absolutisht të zi, aftësia emetuese integrale varet vetëm nga temperatura absolute e trupit dhe përcaktohet me **Ligjin e Stefan–Bolcmanit**:

$$E_T = \sigma T^4,$$

është temperatura absolute e trupit (e shprehur në kelvin) ndërsa σ është **konstanta e Stefan–Bolcmanit**, vlera e së cilës është:

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4\text{)}.$$

Nga ky ligj rrjedh se trupat e nxehur në temperatura më të larta rrezatojnë dukshëm më shumë energji. Për shembull, nëse temperatura e trupit rritet dy herë, energjia që ai rrezaton për njësi kohe dhe për njësi të sipërfaqes rritet 16 herë. Ky përfundim është në përputhje me grafikët e aftësisë emetuese spektrale, ku me rritjen e temperaturës zmadhohet edhe syprina nën lakore.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Temperatura normale e trupit të njeriut mund të merret $36,5^\circ\text{C}$. Temperatura e një personi të ftohur ishte $38,0^\circ\text{C}$. Llogaritni raportin ndërmjet intensiteteve integrale të rrezatimit në të dyja rastet.

Të dhënat: $T_1 = (36,5 + 273,15)\text{K} = 309,65\text{K}$, $T_2 = (38,0 + 273,15)\text{K} = 311,15\text{K}$ Kërkohet: $\frac{E_{T2}}{E_{T1}} = ?$	Zgjidhje: Duke përdorur Ligjin e Stefan–Bolcmanit, fitojmë: $\frac{E_{T2}}{E_{T1}} = \frac{\sigma T_2^4}{\sigma T_1^4} = \frac{T_2^4}{T_1^4} = 1,0195.$ Rezultati tregon se, kur temperatura e trupit rritet vetëm për 0,48%, energjia totale që rrezaton trupi i njeriut rritet për 1,95%. Prandaj, edhe ndryshimet relativisht të vogla të temperaturës mund të shkaktojnë ndryshime të konsiderueshme në energjinë që rrezaton trupi për njësi kohe.
---	---

Ligji i Vinit

Nga spektrat e rrezatimit termik të paraqitur në figurën 6 mund të vërehet se me rritjen e temperaturës së trupit, nuk ndryshon vetëm aftësia emetuese integrale por edhe shpërndarja e rrezatimit sipas gjatësive valore. Aftësia emetuese spektrale nuk është e njëjtë për të gjitha gjatësitë valore: në disa prej tyre rrezatimi është më intensiv, ndërsa në të tjera më pak intensiv. Për çdo temperaturë ekziston një gjatësi valore në të cilën aftësia emetuese spektrale arrin vlerën maksimale, përkatësisht ku spektri ka një maksimum të theksuar qartë. Me rritjen e temperaturës zvogëlohet gjatësia valore në të cilën ndodhet ky maksimum. Për shembull, për një trup absolutisht të zi të nxehur në 4000 K, maksimumi i aftësisë emetuese spektrale ndodhet në pjesën e kuqe të spektrit. Në temperatura më të larta, maksimumi zhvendoset gradualisht drejt pjesës së verdhë, të gjelbër dhe më pas drejt pjesës ultravjollcë të spektrit (figura 6).

Kjo varësi përshkruhet me **Ligjin e zhvendosjes të Vinit**, i cili shprehet me formulën:

$$\lambda_{\max} T = b,$$

ku $\lambda_{\max}$ është gjatësia valore në të cilën aftësia emetuese spektrale arrin vlerën maksimale, T është temperatura absolute e trupit, ndërsa b është **konstanta e Vinit**, vlera e së cilës është:

$$b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}.$$

Ligji i Vinit mundëson që temperatura e një trupi të përcaktohet në mënyrë të thjeshtë, duke matur gjatësinë valore në të cilën rrezatimi është më intensiv. Ky ligj shpjegon pse trupat me temperaturë të ulët rrezatojnë kryesisht në zonën infra të kuqe, ndërsa në temperatura shumë të larta një pjesë e konsiderueshme e rrezatimit ndodhet në pjesën e dukshme të spektrit. Për këtë arsye, trupat e tillë emetojnë dritë.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Në figurën 7 janë paraqitur tri yje me ngjyra të ndryshme: i kuq, i verdhë dhe i kaltër. Ngjyrat e yjeve lidhen me gjatësinë valore në të cilën rrezatimi i tyre është më intensiv. Dihet se:

- ylli i kuq e ka intensitetin spektral maksimal të rrezatimit në $\lambda_{1,\max} = 700 \text{ nm}$,
- ylli i verdhë e ka intensitetin spektral maksimal të rrezatimit në $\lambda_{2,\max} = 580 \text{ nm}$,
- ylli i kaltër e ka intensitetin spektral maksimal të rrezatimit në $\lambda_{3,\max} = 450 \text{ nm}$.

Të përcaktohen:

- temperatura e sipërfaqes së secilit yll;
- renditja e yjeve sipas temperaturës së tyre.

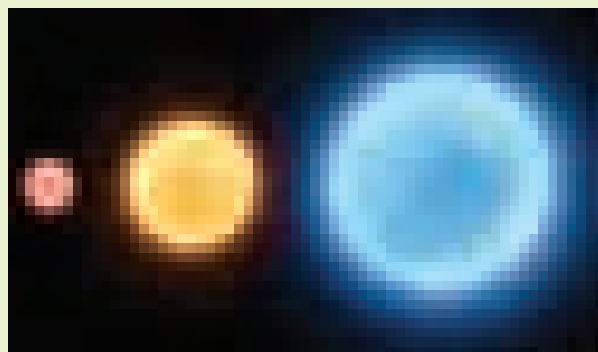


Figura 7. Tri yje me ngjyra të ndryshme

Të dhënat:

$$\lambda_{1,\max} = 700 \text{ nm},$$

$$\lambda_{2,\max} = 580 \text{ nm},$$

$$\lambda_{3,\max} = 450 \text{ nm}$$

Kërkohet:

a) $T_1 - ?$, $T_2 - ?$, $T_3 - ?$

b) Renditja e yjeve sipas temperaturës së tyre.

Zgjidhje:

Sipas Ligjit të Vinit për zhvendosjen: $\lambda_{\max} T = b$, ku $b = 2,90 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.
Temperatura e yllit të kuq $T_1 = \frac{b}{\lambda_{1,\max}} = 4,1 \cdot 10^3 \text{ K}$, Temperatura e yllit

të verdhë: $T_2 = \frac{b}{\lambda_{2,\max}} = 5,0 \cdot 10^3 \text{ K}$, Temperatura e yllit të kaltër:

$$T_3 = \frac{b}{\lambda_{3,\max}} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ K}.$$

Edhe pse në shikim të parë ylli i kuq mund të duket “më i nxehtë”, llogaritjet tregojnë se ylli i kaltër ka temperaturën më të lartë ndërsa ylli i kuq temperaturën më të ulët. Me rritjen e temperaturës, maksimumi i rrezatimit zhvendoset drejt gjatësive valore më të shkurtra, përkatësisht nga ngjyra e kuqe drejt së kaltrës. Kjo është pasojë e drejtpërdrejtë e Ligjit të Vinit. Gjithashtu, nga kjo figurë mund të vërejmë se yjet më të mëdhenj kanë temperaturë më të lartë.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Rrezja e Diellit është $6,96 \cdot 10^8$ m, ndërsa fuqia totale që rrezaton Dielli, përkatësisht (energja për njësi kohe) është $3,85 \cdot 10^{26}$ W.

a) Duke supozuar se sipërfaqja e Diellit rrezaton si një trup absolutisht i zi, të përcaktohet temperatura e sipërfaqes së tij.

b) Duke përdorur rezultatin e pikës a), të përcaktohet gjatësia valore λ në të cilën rrezatimi është më intensiv..

Të dhënat: $R = 6,96 \cdot 10^8$ m , $P = 3,85 \cdot 10^{26}$ W , $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W m ⁻² K ⁻⁴ , $b = 2,90 \cdot 10^{-3}$ m · K Kërkohet: a) T – ? b) λ – ?	Zgjidhje: a) Nëse trupi ka syprinë totale S, atëherë nga çdo metër katror rrezatohet E_T (aftësinë emetuese integrale) ndërsa nga e gjithë sipërfaqja rrezatohet: $P = E_T \cdot S$, ku P është fuqia e rrezatimit. Sipas Ligjit të Stefan–Bolcmanit: $E_T = \sigma T^4$, nëse zëvendësohet në barazimin e fuqisë: fitohet $P = S \sigma T^4$. Meqenëse Dielli përfaqësohet mund të merret si sferë, vlen: $S = 4\pi R^2$, pas zëvendësimit fitojmë: $P = 4\pi R^2 \sigma T^4.$ Atëherë, temperatura e sipërfaqes është: $T = \sqrt[4]{\frac{P}{4\pi R^2 \sigma}} = 5780$ K . b) Duke përdorur vlerën e temperaturës së Diellit, sipas Ligjit të Vinit për zhvendosjen fitojmë: $\lambda_{\max} T = b \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{b}{T} = 5,01 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 501 \text{ nm} .$
---	--

Secili nga ligjet e përmendura përshkruan një aspekt të ndryshëm të rrezatimit termik. Ligji i Stefan–Bolcmanit jep energjinë totale që rrezaton trupi në të gjitha gjatësitë valore. Ligji i Vinit përcakton gjatësinë valore në të cilën rrezatimi është më intensiv. Forma e spektrit, përkatësisht shpërndarja e energjisë sipas gjatësive valore, paraqitet me spektrin e rrezatimit të trupit absolutisht të zi. Karakteristikat e tyre kryesore janë përmbledhur në tabelën 2.

Ligji i rrezatimit	Çfarë përshkruan	Çfarë mund të përcaktojmë me të
Spektri i trupit absolutisht të zi	Energjia që rrezaton një trup i nxehtë në një temperaturë të caktuar, në çdo gjatësi valore, nga njësi e sipërfaqes në njësi të kohës	Si varet aftësia emetuese spektrale nga gjatësia valore (λ) për një temperaturë të caktuar (T)
Ligji i Kirhofit ($\frac{E_{T,\lambda}}{a_{T,\lambda}} = E_{T,\lambda}^{(0)}$)	Lidhja ndërmjet aftësisë emetuese spektrale dhe aftësisë absorbuese spektrale të trupit	Trupat që e absorbojnë mirë rrezatimin në një gjatësi valore të caktuar, në të njëjtat kushte emetojnë mirë rrezatim në atë gjatësi valore
Ligji i Stefan–Bolcmanit ($E_T = \sigma T^4$)	Energjia totale që rrezaton trupi nga njësia e sipërfaqes në njësi të kohës, kur është i nxehtë në temperaturën T .	Sa energji rrezaton trupi në të gjitha gjatësitë valore së bashku, nga njësia e sipërfaqes në njësi të kohës
Ligji i Vinit për zhvendosjen ($\lambda_{\max} T = b$)	Pozita e maksimumit të spektrit	Në cilën gjatësi valore trupi rrezaton më shumë energji, nga njësia e sipërfaqes në njësi të kohës

Tabela 2. Ligjet e rrezatimit termik – përmbledhje

Nga pamja klasike te pamja kuantike e rrezatimit

Edhe pse Ligji i Stefan–Bolcmanit dhe Ligji i Vinit përshkruajnë me sukses energjinë totale që rrezaton trupi dhe pozitën e maksimumit të spektrit, ata nuk japin një përshkrim të plotë matematikor të spektrit të rrezatimit termik. Më saktësisht, ata nuk e shpjegojnë varësinë e aftësisë emetuese spektrale nga gjatësia valore dhe temperatura.

Përpyqjet për ta shpjeguar këtë spektër me fizikën klasike mbështeteshin në supozimin se energjia shkëmbehet në mënyrë të vazhdueshme, përkatësisht se ajo mund të ketë vlera çfarëdo të vogla. Nëse kjo do të vlente edhe për rrezatimin e trupit absolutisht të zi, atëherë në gjatësi valore të vogla (frekuenca të mëdha) aftësia emetuese spektrale do të rritej pa kufi, siç është paraqitur në figurën 8 (lakorja në skajin e djathtë të grafikut).

Megjithatë, eksperimentet tregojnë se në zonën e rrezatimit me gjatësi valore të shkurtra, intensiteti zvogëlohet dhe nuk rritet. Kjo mospërputhje tregon qartë se supozimi klasik për shkëmbimin e vazhdueshëm të energjisë nuk është i zbatueshëm në proceset mikroskopike të emetimit dhe absorbimit. Zgjidhja e propozuar nga Maks Planku përbënte një ndryshim thelbësor në kuptimin e rrezatimit. Ai supozoi se energjia nuk rrezatohet dhe nuk shkëmbehet në mënyrë të vazhdueshme, por në “porcione” ose “paketa” diskrete dhe të përcaktuara saktësisht. Porcioni më i vogël i energjisë që mund të emetohet ose të absorbohet gjatë rrezatimit quhet kuant.

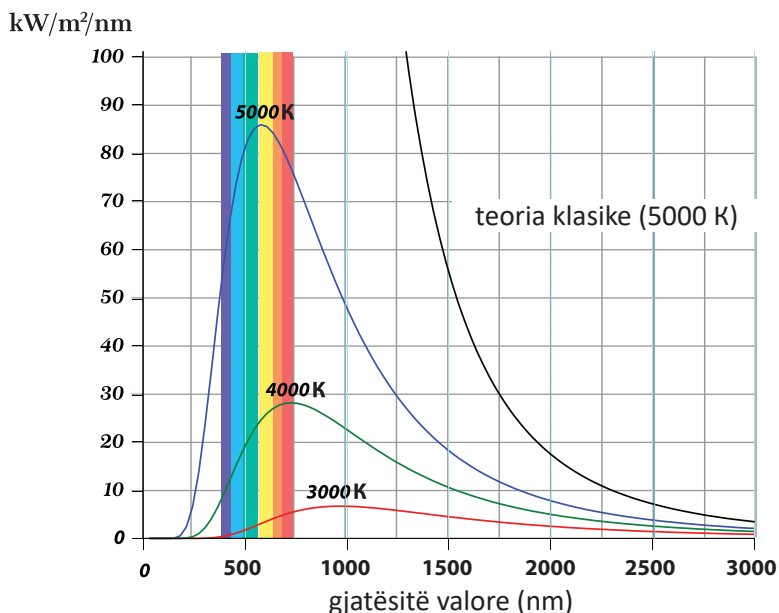


Figura 8. Spektri i rrezatimit termik të trupit absolutisht të zi për temperatura të ndryshme. Teoria klasike (lakorja e zezë) parashikon rritje të pakufishme të rrezatimit në gjatësi valore të vogla, gjë që nuk vërtetohet në mënyrë eksperimentale.

Prej kësaj rrjedh se energjia nuk mund të ketë vlera të çfarëdoshme, por paraqitet në sasi të veçanta dhe diskrete. Përkatësisht, thuhet se energjia është një **madhësi e kuantizuar**.

Për ta kuptuar më lehtë këtë ide, mund të përdoret analogjia me ngjitjen në një lartësi të caktuar. Gjatë lëvizjes nëpër një rrafsh të pjerrët, lartësia, (e bashkë me të edhe energjia potenciale) mund të rritet vazhdimisht, me hapa çfarëdo të vegjël. Në të kundërt, gjatë ngjitjes nëpër shkallë, lartësia dhe energjia potenciale rriten në “porcione” të përcaktuara saktësisht: nga një shkallë e plotë. Nuk është e mundur të ngjitemi për gjysmën ose për një pjesë të shkallës. Në mënyrë të ngjashme, gjatë proceseve të emetimit dhe absorbimit, energjia nuk ndryshon në mënyrë të vazhdueshme por në “porcione” diskrete, përkatësisht në kuante.

Planku tregoi se energjia e një kuanti nuk është e njëjtë për të gjitha llojet e rrezatimit, por varet nga frekuenca e valës elektromagnetike. Për rrezatimin me frekuencë f , energjia e një kuanti jepet me relacionin:

$$E = hf,$$

ku h është konstanta e Plankut, një nga konstantet themelore të fizikës, me vlerë $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$. Mëqenëse frekuenca f dhe gjatësia valore λ e valëve elektromagnetike lidhen nëpërmjet shpejtësisë së dritës c , energjia e kuantit mund të shprehet edhe nëpërmjet gjatësisë valore:

$$E = h \frac{c}{\lambda}$$

Nga këto relacione rrjedh një përfundim i rëndësishëm: sa më e madhe të jetë frekuenca e rrezatimit (ose sa më e vogël të jetë gjatësia e tij valore) aq më e madhe është energjia e një kuanti. Prandaj, rrezatimi me gjatësi valore të shkurtra (si rrezatimi ultravjollcë), bart energji shumë më të madhe për kuant sesa rrezatimi me gjatësi valore të gjata (si rrezatimi infra i kuq).

Kuantizimi nuk do të thotë se trupi mund të emetojë vetëm një kuant. Përkundrazi, ai mund të emetojë një numër të madh kuantesh me të njëjtën frekuencë. Në këtë rast, energjia totale e rrezatuar është e barabartë me shumën e energjive të kuantëve të veçanta, përkatësisht është shumëfish i plotë i energjisë së një kuanti:

$$E = nhf$$

ku n është numër natyror.

Kjo ide shpjegon thelbin e rrezatimit në kuantë: **për një frekuencë të dhënë, energjia nuk mund të ketë vlerë të çfarëdoshme**, por shfaqet vetëm në porcione të përcaktuara saktësisht. Pikërisht për këtë arsye, në frekuenca shumë të larta (gjatësi valore të shkurtra), kuantet kanë energji aq të madhe, sa që ka pak gjasa që trupi t'i emetojë ato në numër të madh. Si pasojë, aftësia emetuese spektrale në pjesën me gjatësi valore të shkurtra të spektrit zvogëlohet, në vend që të rritet pafundësisht, siç parashikonte teoria klasike.

Kur ideja kuantike zbatohet drejtpërdrejt për dritën, kuanti i rrezatimit elektromagnetik merr një emër të veçantë: **foton**. Fotoni është kuant i dritës, përkatësisht porcioni më i vogël dhe i pandashëm i energjisë së dritës, me energji $E = hf$. Gjatë bashkëveprimit me materien, drita nuk e shkëmben energjinë gradualisht, por vetëm nëpërmjet emetimit ose absorbimit të fotoneve si tërësi.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Në errësirë të plotë, syri i njeriut mund ta „dallopë“ dritën vetëm nëse tek ai arrin dritë me një intensitet minimal të caktuar. Ky intensitet minimal quhet pragu i ndjeshmërisë (ose pragu i dukshmërisë). Për dritën e gjelbër me gjatësi valore 510 nm , pragu i ndjeshmërisë është: $4,20 \cdot 10^{-11} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Sa fotone hyjnë në sy për sekondë, nëse bebëza në errësirë është hapur deri në diametrin maksimal $8,20 \text{ mm}$?

Të dhënat:

$$I = 4,20 \cdot 10^{-11} \frac{\text{W}}{\text{m}^2},$$

$$\lambda = 510 \text{ nm} = 5,10 \cdot 10^{-7} \text{ m},$$

$$d = 8,20 \text{ mm} = 8,20 \cdot 10^{-3} \text{ m},$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s},$$

$$c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Kërkohet:

N - ? (fotone për sekondë)

Zgjidhje:

Intensiteti paraqet fuqinë në njësi të sipërfaqes: $I = \frac{P}{S}$.

Prej këtui, fuqia (energjia në njësi kohe) që hyn nëpër bebëz është: $P = I \cdot S$.

Bebëzën e konsiderojmë si një hapje rrethore me diametër d , përkatësisht

me rreze $r = \frac{d}{2}$, prandaj, syprina e saj është:

$$S = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2, S = 5,28 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2. \text{ Në këtë rast, fuqia është:}$$

$$P = I \cdot S = 2,22 \cdot 10^{-15} \text{ W. Energjia e një fotoni është: } E = \frac{hc}{\lambda} = 3,90 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Nëse në sy hyjnë N fotone për sekondë, atëherë fuqia totale që hyn në sy është: $P = N \cdot E$ prej nga

$$N = \frac{P}{E} = 5,69 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}.$$

Pasi ta pranojmë idenë se energjia shkëmbehet në sasi diskrete, përkatësisht në kuante, shtrohet pyetja nëse edhe atomet mund të shkëmbejnë energji vetëm në një mënyrë të tillë diskrete. Përgjigjen e kësaj pyetjeje e japin spektrat atomikë.

Spektrat atomikë nuk janë të vazhdueshëm. Kjo do të thotë se atomet nuk emetojnë rrezatim termik dhe rrjedhimisht as dritë me gjatësi valore të çfarëdoshme. Ato japin spektra vijorë (jotëvazhdueshëm), të përbërë nga vija të veçanta, përkatësisht nga gjatësi valore (ose frekuenca) të përcaktuara saktësisht. Kjo tregon se atomi mund të emetojë ose të absorbojë vetëm sasi energjie të përcaktuara saktësisht. Në figurën 9 janë paraqitur spektri i emetimit dhe spektri i absorbimit të atomit të hidrogjenit në pjesën e dukshme të spektrit. Vijat e errëta në spektrin e absorbimit shfaqen në të njëjtat pozita si vijat e ndritshme në spektrin e emetimit. Kjo do të thotë se atomet absorbojnë dritë vetëm në ato gjatësi valore në të cilat mund edhe ta emetojnë atë. Këto fakte tregojnë se shkëmbimi i energjisë tek atomet është i kuantizuar dhe përbëjnë bazën për paraqitjen e konceptit të niveleve energjetike dhe për zhvillimin e modeleve të atomit, të cilat do t'i shqyrtojmë në mësimet në vijim.

Pas paraqitjes së koncepteve dhe ligjeve të reja, tani mund ta përmbledhim shkurtimisht atë që kemi mësuar. Edhe pse në shikim të parë ky mësim duket abstrakt, idetë për rrezatimin termik dhe trupin absolutisht të zi nuk janë vetëm koncepte teorike, por kanë zbatime të qarta dhe lehtësisht të dallueshme në jetën e përditshme dhe në teknologjinë bashkëkohore.

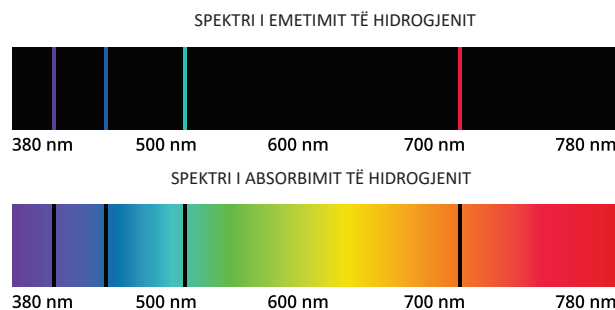


Figura 9. Spektri i emetimit të hidrogjenit (lart) dhe spektri i absorbimit të hidrogjenit (poshtë)



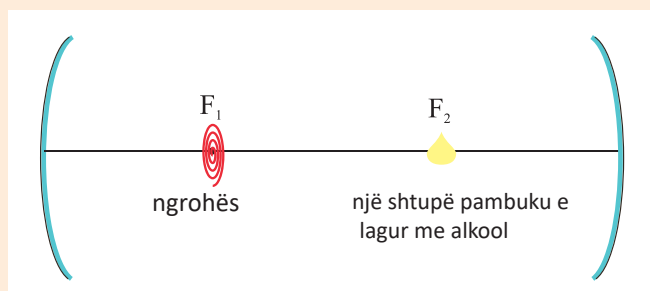
AKTIVITETI 2.

Imagjinoni dy pasqyra të njëjta të lugëta, të vendosura përballë njëra-tjetrës, në mënyrë që boshtet e tyre kryesore optike të përputhen. Në fokusin e pasqyrës së parë ndodhet një trup shumë i nxehtë që rrezaton nxehtësi (për shembull, një ngrohës), ndërsa në fokusin e pasqyrës së dytë ndodhet një trup i vogël i ndezshëm, për shembull, një copë pambuku e njomur me alkool. Edhe pse ndërmjet tyre nuk ka kontakt të drejtpërdrejtë dhe as flakë, pas një kohe të shkurtër pambuku në fokusin e pasqyrës së dytë mund të ndizet.

Ky efekt shkaktohet nga rrezatimi termik (infra i kuq), i cili pasqyrohet nga pasqyrat dhe mblidhet në fokus, në të njëjtën mënyrë si drita. Kështu, energjia e trupit të nxehtë transmetohet edhe pa kontakt të drejtpërdrejtë. Kjo tregon se rrezatimi termik sillet si valë dhe mund të kahëzohet e të fokusohet.

Paralajmërim i rëndësishëm për sigurinë:

Ky eksperiment është paraqitur vetëm si veprimtari mendore dhe është parashikuar të kryhet vetëm në kushte laboratorike. Realizimi i tij me trupa të nxehtë ose me lëndë të ndezshme është i rrezikshëm dhe nuk duhet të bëhet në shtëpi. Nëse kryhet si demonstrim, duhet të realizohet vetëm nën mbikëqyrjen e mësimitdhënësit dhe me masa të përshtatshme mbrojtëse.



Kamerat termike dhe pajisjet për shikim natën nuk regjistrojnë dritën e dukshme, por rrezatimin infra të kuq. Trupi i njeriut, me temperaturë rreth 300K, rrezaton më fuqishëm pikërisht në pjesën infra të kuqe të spektrit. Prandaj, me kamerë termike mund të „shihet“ një njeri në errësirë, të zbulohet humbja e nxehtësisë në një ndërtesë ose të vërehet mbinxehja e një instalimi elektrik ende pa ndodhur defekti.



Figura 10. Kamera termike



MËSO MË SHUMË

Aftësia emetuese spektrale e trupit absolutisht të zi mund të përshkruhet saktësisht me formulën e Plankut, e cila tregon se si energjia e emetuar varet nga gjatësia valore dhe nga temperatura e trupit. Kjo formulë është nxjerrë teorikisht, duke e konsideruar energjinë si madhësi të kuantizuar. Formula e Plankut e përshkruan plotësisht spektrin e rrezatimit të trupit absolutisht të zi:

$$E_{T,\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}.$$

Në këtë formulë, h është konstanta e Plankut c është shpejtësia e dritës në vakum, ndërsa k_B konstanta e Bolcmanit.



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse sipërfaqet me ngjyrë të errët zakonisht nxehen më shumë në diell sesa sipërfaqet me ngjyrë të çelët?
2. Me anë të një eksperimenti është matur se gjatë nxehtësisë së një trupi absolutisht të zi nga temperatura T_1 në T_2 aftësia emetuese e përgjithshme është rritur N herë. Përcaktoni sa herë është rritur temperatura e trupit absolutisht të zi.
3. Pse ligjet e rrezatimit termik janë të rëndësishme në astronomi? Tregoni se cila madhësi fizike mund të përcaktohet nëse regjistrohet spektri i emetimit të dritës që vjen nga një yll.
4. Aftësia absorbuese e përgjithshme e qymyrit në temperaturën 650K është 0,85. Llogaritni energjinë që emeton një copë qymyr gjatë 1 minute, nëse syprina e saj është 10 cm². (Zgjidhja: 516 J)
5. Përcaktoni sa duhet të ndryshojë temperatura e një trupi absolutisht të zi, në mënyrë që maksimumi i aftësisë së tij emetuese spektrale të zhvendoset nga 700nm në 350nm.? (Zgjidhja: temperatura duhet të rritet për 4140 K)
6. Temperatura e një trupi absolutisht të zi është rritur nga 400 °C në 1400 °C . Për t'u përcaktuar:
 - a) Sa herë do të ndryshojë aftësia emetuese e përgjithshme e trupit absolutisht të zi?
 - b) Për sa do të ndryshojë gjatësia valore së cilës i përgjigjet intensiteti maksimal i rrezatimit? (Zgjidhja: a) rritet për 38,2 herë b) zvogëlohet për 2,6 μm)
7. Nëse Marsi pasqyron 25 % të rrezatimit diellor që bie mbi sipërfaqen e tij, përcaktoni temperaturën mesatare të tij. Konsideroni se Dielli është një sferë me rreze 695700km, temperatura e sipërfaqes së tij është 5780K, ndërsa largësia ndërmjet Diellit dhe Marsit është $2,28 \cdot 10^8$ km . (Zgjidhja: 210 K)

4.2. Efekti fotoelektrik

Në mësimin e mëparshëm pamë se fizika klasike nuk mund ta shpjegojë plotësisht rrezatimin termik. Në vazhdim do të shohim se ekzistojnë edhe dukuri të tjera fizike që nuk mund të shpjegohen brenda kornizave të saj, veçanërisht kur drita shkëmben drejtpërdrejt energji me grimca të veçanta. Te trupi absolutisht i zi, paraqitja e kuantëve u dëshmuar e domosdoshme për shpjegimin e saktë të spektrit të vazhdueshëm të rrezatimit termik. Në këtë mësim do të shohim se natyra kuantike e dritës nuk është vetëm një supozim teorik, por një fakt eksperimental që mund të demonstrohet në mënyrë të thjeshtë.

Le të shqyrtojmë një shembull si ai i paraqitur në figurën 1. Fillimisht, elektroskopi, pllaka e sipërme e të cilit është prej zinku, elektrizohet negativisht. Më pas, pllaka ndriçohet me dritën e një llambe që rrezaton fuqishëm në pjesën ultravjollcë të spektrit. Gjatë ndriçimit, devijimi i fletëzave zvogëlohet, përkatësisht elektroskopi shkarkohet elektrikisht (çelektrizohet).

Në temën e parë thamë se, për ta shkarkuar elektrikisht një trup me ngarkesë negative, përkatësisht një trup me tepërcë elektronesh, është e nevojshme që elektronet e tepërta të largohen prej tij. Në këtë rast, elektroskopi nuk është i lidhur me tokën, prandaj shtrohet pyetja: ku kaluan elektronet kur mbi elektroskop ra drita ultravjollcë? Përgjigjja është se elektronet u shkëputën nga sipërfaqja e metalit nën veprimin e dritës. **Shkëputja e elektroneve nga sipërfaqja e një metali nën veprimin e dritës quhet efekti fotoelektrik i jashtëm (ose shkurt fotoefekti), ndërsa elektronet e emetuara nga metali quhen fotoelektrone. Dukuria quhet „e jashtme“, sepse elektronet e lëshojnë sipërfaqen e metalit dhe dalin jashtë tij.**

Për t'u njohur me vetitë e efektit fotoelektrik të jashtëm, mund ta plotësojmë demonstrimin e paraqitur në figurën 1. Nëse rritet intensiteti i dritës (për shembull, duke e ndriçuar elektroskopin me dy llamba), shkarkimi elektrik i elektroskopit do të ndodhë më shpejt. Kjo tregon se numri i fotoelektroneve të emetuara varet nga intensiteti i dritës. Megjithatë, gjatë shfaqjes së fotoefektit nuk është i rëndësishëm vetëm intensiteti i dritës. Llamba që përdorim duhet të rrezatojë në pjesën ultravjollcë të spektrit. Nëse në rrugën e dritës ultravjollcë vendoset një pllakë qelqi, elektroskopi nuk do të shkarkohet elektrikisht (çelektrizohet), sepse qelqi i absorbon rrezet ultravjollcë. Por, nëse eksperimenti përsëritet me një pllakë kuarci, elektronet do të shkëputen përsëri nga metali, përkatësisht do të vërehet sërish fotoefekti.

Për t'i shpjeguar këto dukuri, është e domosdoshme të merret parasysh natyra kuantike e dritës. Ajo është thelbësore jo vetëm për të përcaktuar nëse do të ndodhë emetimi i elektroneve, por edhe për të shpjeguar energjinë kinetike të fotoelektroneve të emetuara. Meqenëse këto efekte mund të studiohen drejtpërdrejt në mënyrë eksperimentale, efekti fotoelektrik është një shembull veçanërisht i përshtatshëm për studimin e natyrës kuantike të dritës.

Hulumtimi i efektit fotoelektrik të jashtëm

Për hulumtimin e efektit fotoelektrik të jashtëm zakonisht përdoret një **fotoqelizë** e lidhur në qark elektrik, siç është paraqitur në figurën 2. Në rastin më të thjeshtë, fotoqeliza përbëhet nga një tub vakumi me dy elektroda: **photokatoda**, e cila është sipërfaqja metalike që ndriçohet dhe anoda, e cila shërben për mbledhjen e elektroneve të emetuara nga fotokatoda.

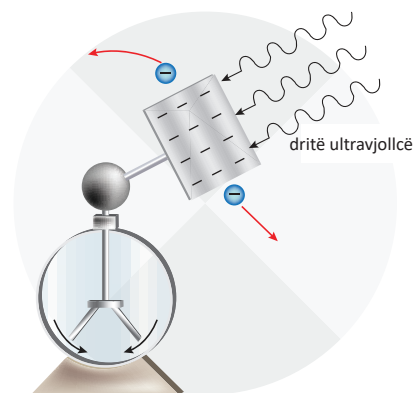


Figura 1. Demonstrimi i efektit fotoelektrik të jashtëm. Elektroskopi i elektrizuar negativisht ndriçohet me dritë ultravjollcë

Kur fotokatoda ndriçohet me dritë me gjatësi valore të ndryshme (përkatësisht frekuencë), në qarkun e jashtëm mund të kalojë rrymë ose jo, në varësi të gjatësisë valore të dritës dhe të materialit të fotokatodës. Intensiteti i rrymës matet me ampermetër. Nëse gjatë ndriçimit shfaqet efekti fotoelektrik, fotoelektronet e emetuara nga fotokatoda lëvizin drejt anodës dhe në pjesën e jashtme të qarkut elektrik kalon rrymë. Kjo rrymë quhet **fotorrymë**, ndërsa prania e saj paraqet dëshmi të drejtpërdrejtë eksperimentale se drita ka shkaktuar emetimin e elektroneve nga metali.

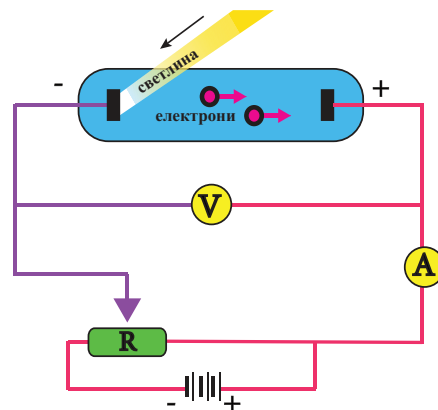


Figura 2. Qarku elektrik me të cilin mund të studiohet efekti fotoelektrik i jashtëm



AKTIVITETI 1.

Qëllimi i aktivitetit: Me ndihmën e një simulimi interaktiv, të hulumtohet se si fotorryma varet nga madhësi të ndryshme fizike, me qëllim që të nxirren përfundime për natyrën e efektit fotoelektrik. Në këtë aktivitet do të hulumtojmë:

- si fotorryma varet nga intensiteti i dritës,
- si fotorryma varet nga gjatësia valore e dritës,
- si fotorryma varet nga tensioni ndërmjet anodës dhe katodës.

Simulimi PhET : Efekti fotoelektrik (Photoelectric Effect)

<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/photoelectric/latest/photoelectric.html>

Përgatitja:

1. Hap simulimin.
2. Në pjesën Caku („Target“) zgjidhe metalin natrium („Sodium“).
3. Në pjesën Grafikët („Graphs“) aktivizoji të gjitha tri opsionet, duhet që të shfaqen tri sisteme koordinative.

4. Vendos:

- intensiteti i dritës: 50 %,
- tensioni ndërmjet elektrodave: 0 V,
- gjatësia valore: 350 nm.

5. Vëzhgo:

- nëse në fotokatodë po shfaqen elektrone,
- nëse fotoelektronet e emetuara arrijnë deri te anoda,
- nëse kjo rezulton me rrjedhje të rrymës në qark (e treguar në ampermetrin pranë baterisë),
- nëse një pjesë e elektroneve po kthehen prapa drejt fotokatodës.

Këto pyetje shtroja vetes gjithmonë atëherë kur në aktivitet kërkohet që të bëhet vëzhgimi i fotorrymës në simulim.

Pjesa 1: Varësia e fotorrymës nga intensiteti i dritës

Ndryshoje vazhdimisht intensitetin e dritës. Vërej dhe shëno intensitetin e rrymës për intensitete të ndryshme (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %). Vëzhgo se si po sillen fotoelektronet në simulim me ndryshimin e intensitetit të dritës.

Në anën e djathtë të simulimit vizatohet një grafik me shënimin „current vs light intensity“, përkatësisht varësia e intensitetit të fotorrymës nga intensiteti i dritës.

- Sipas këtij grafiku, si është varësia e intensitetit të rrymës nga intensiteti i dritës?
- Çfarë paraqet rritja e fotorrymës në nivel mikroskopik?

Pjesa 2: Varësia e fotorrymës nga gjatësia valore

Ndryshoje vazhdimisht gjatësinë valore të dritës. Vërej dhe shëno intensitetin e rrymës për gjatësi valore të ndryshme (100 nm, 200 nm, ..., 800 nm).

- Vëzhgo se si sillen fotoelektronet në simulim me ndryshimin e gjatësisë valore.
- Vëre se në cilën gjatësi valore fotorryma pushon së rrjedhuri.
- Analizojë grafikun me shënimin „Electron energy vs light frequency“, përkatësisht varësinë e energjisë kinetike të elektroneve nga frekuenca e dritës.

Edhe pse në simulim po ndryshohet gjatësia valore, në grafik është paraqitur frekuenca.

Kujtoje faktin se lidhja ndërmjet këtyre madhësive është $\lambda f = c$, ku c është shpejtësia e dritës. Shpjego pse me rritjen e gjatësisë valore, frekuenca zvogëlohet.

- Si është forma e grafikut? A ka frekuencë për të cilën energjia kinetike fillestare e elektroneve është e barabartë me zero?
- Bëje ndërrimin e metalit që po ndriçohet, për shembull: zink, bakër etj.
- Përsëri ndryshoje vazhdimisht gjatësinë valore.
- Vëzhgo se si po ndryshon intensiteti i fotorrymës.
- A është i njëjtë intensiteti i fotorrymës në qark për të njëjtën gjatësi valore, për shembull 350nm, kur përdoren fotokatoda prej metalesh të ndryshme?
- Në cilën gjatësi valore fotorryma pushon së rrjedhuri te secili metal?
- Çfarë tregon kjo për vetitë e metaleve të ndryshme?

Pjesa 3: Varësia e fotorrymës nga tensioni ndërmjet anodës dhe fotokatodës

Gjatësinë valore rregulloje në vlerën e saj më të vogël (100 nm), ndërsa intensitetin në (100 %). Tensionin e baterisë së lidhur në qark rregulloje në vlerën minimale të tij (- 8 V). Ngadalë rrite tensionin deri në vlerën maksimale (8 V).

- Vëzhgo se si po ndryshon intensiteti i fotorrymës.
- Vëzhgo se si duket grafiku i varësisë së intensitetit të rrymës nga tensioni që zbatohet ndërmjet anodës dhe fotokatodës („current vs battery voltage“).
- Pse në një çast të caktuar intensiteti i fotorrymës nuk rritet më tutje, edhe pse e rrit tensionin ndërmjet anodës dhe fotokatodës?
- Bëje ndërrimin e metalit të fotokatodës:
- Analizojë dallimet e grafikut të varësisë së intensitetit të rrymës nga tensioni për metalet e ndryshme.
- Përcakto për metale të ndryshme në cilin tension pushon rrjedhja e fotorrymës?

Në bazë të vëzhgimeve nga Aktiviteti, mund ta shqyrtojmë më hollësisht varësinë e fotorrymës nga tensioni ndërmjet anodës dhe fotokatodës, si dhe t'i shpjegojmë vetitë e fotoelektroneve. Kur anoda ka tension pozitiv në raport me katodën, elektronet e emetuara nga fotokatoda lëvizin drejt anodës dhe në pjesën e jashtme të qarkut elektrik kalon rrymë.

Me rritjen e tensionit, fotorryma rritet derisa arrin gjendjen **e ngopjes**. Në këtë gjendje, praktikisht të gjitha elektronet e emetuara arrijnë në anodë dhe rritja e mëtejshme e tensionit nuk shkakton rritjen e fotorrymës.

Ky vëzhgim tregon se **intensiteti i fotorrymës përcaktohet nga numri i fotoelektroneve të emetuara në njësi të kohës**. Ky numër varet nga intensiteti i dritës, përkatësisht nga numri i fotoneve që bien mbi fotokatodë në njësi të kohës.

Nëse ndryshohet polariteti i elektrodave, në mënyrë që anoda të bëhet negative në raport me fotokatodën, fusha elektrike fillon t'i ngadalësojë fotoelektronet dhe një pjesë të tyre i kthen drejt fotokatodës. Megjithatë, brenda një intervali të caktuar të tensioneve negative, fotorryma vazhdon të ekzistojë. Kjo tregon se **fotoelektronet emetohen me një energji kinetike të caktuar** dhe mund të kryejnë punë kundër veprimit të fushës elektrike.

Tensioni U_z në të cilin fotorryma pushon së rrjedhuri, quhet tension frenues. Tensioni frenues është veçanërisht i rëndësishëm, sepse nëpërmjet tij mund të përcaktohet energjia kinetike maksimale $E_{k,max}$ e fotoelektroneve. Meqenëse energjia kinetike nuk mund të jetë negative, në formulë merret vlera absolute e tensionit frenues, sipas relacionit: $E_{k,max} = e|U_z|$, ku është ngarkesa e elektronit.

Me rritjen e intensitetit të dritës rritet edhe intensiteti i fotorrymës, që do të thotë se emetohet një numër më i madh fotoelektronesh në njësi të kohës. Kur ndërmjet anodës dhe fotokatodës zbatohet një tension pozitiv mjaft i madh, fotorryma arrin gjendjen e ngopjes. Në këtë gjendje, praktikisht të gjitha elektronet e emetuara arrijnë në anodë. Siç është paraqitur në figurën 3, kur intensiteti i ndriçimit është më i madh, edhe intensiteti i fotorrymës është më i madh, ndërsa tensioni frenues ka të njëjtën vlerë për të dyja intensitetet. Kjo tregon se **intensiteti i dritës ndikon në numrin e elektroneve të emetuara, por jo në energjinë e tyre kinetike maksimale**.

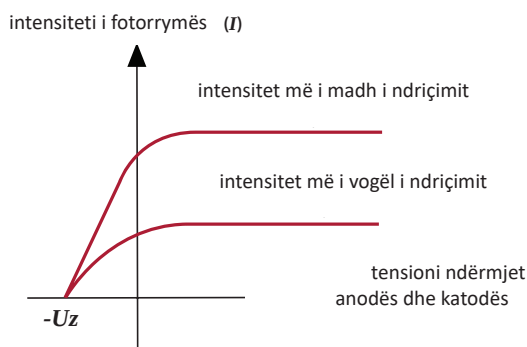


Figura 3. Varësia e intensitetit të fotorrymës nga tensioni ndërmjet anodës dhe katodës, për dy intensitete të ndryshme ndriçimi (I_1 dhe I_2)

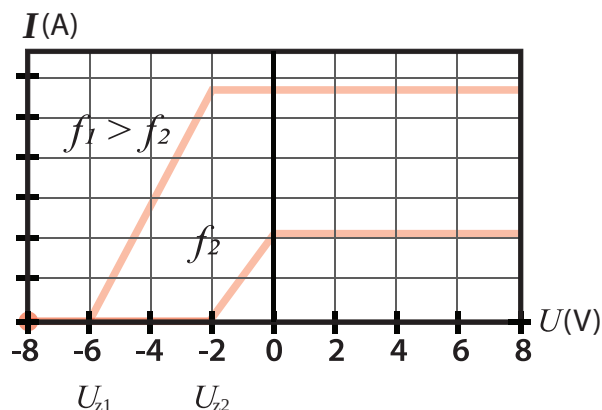


Figura 4. Varësia e tensionit frenues nga frekuenca e dritës me të cilën ndriçohet fotokatoda

Kjo varësi nuk vlen për frekuenca më të vogla se një vlerë e caktuar. Për çdo metal ekziston një frekuencë minimale f_0 (ose një gjatësi valore maksimale λ_0) në të cilën efekti fotoelektrik ende mund të shfaqet. Kjo frekuencë quhet kufiri i kuq i efektit fotoelektrik

Nëse frekuenca e dritës është më e vogël se frekuenca kufitare, fotoefekti nuk shfaqet, pavarësisht nga intensiteti i dritës siç është paraqitur në figurën 5.

Kur frekuenca e dritës është më e madhe se frekuenca kufitare, fotoelektronet emetohen pothuajse menjëherë pas ndriçimit të metalit, (brenda një kohe më të shkurtër se $3 \cdot 10^{-9}$ s)

Kjo tregon se energjia nuk transmetohet gradualisht, por nëpërmjet ngjarjeve diskrete me kohëzgjatje shumë të shkurtër.

Këto fakte eksperimentale tregojnë qartë se drita nuk mund të përshkruhet vetëm si valë që transmeton energji në mënyrë të vazhdueshme, por ajo shfaq edhe natyrë grimcore (kuantike). Kjo përbën bazën e shpjegimit teorik të efektit fotoelektrik. Përfundimet e këtyre eksperimenteve janë përmbledhur në tabelën 1.

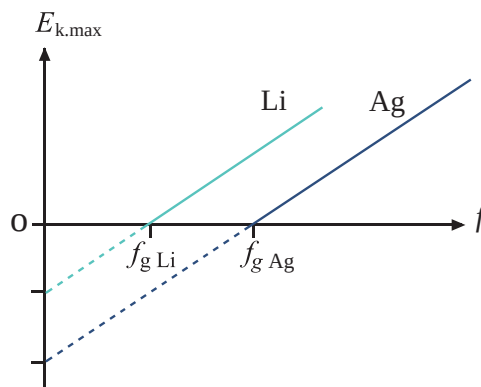


Figura 5. Varësia e energjisë kinetike maksimale e elektroneve nga frekuenca e dritës me të cilën ndriçohen dy metale të ndryshme (Li dhe Ag)

Nr.	Çfarë ndryshon	Rezultati eksperimental	Përfundim
1.	Intensiteti i dritës	Me rritjen e intensitetit të dritës rritet edhe intensiteti i fotorrymës. Kur arrihet ngopja, fotorryma është më e madhe për intensitet më të madh të dritës.	Fotorryma varet nga numri i fotoelektroneve të emetuara, ndërsa ai numër varet nga intensiteti i dritës.
2.	Intensiteti i dritës	Për intensitete të ndryshme të dritës, fotorryma pushon së rrjedhuri për të njëjtën vlerë të tensionit frenues	Energjia kinetike maksimale e fotoelektroneve nuk varet nga intensiteti i dritës.
3.	Frekuenca (gjatësia valore) e dritës	Për frekuenca të ndryshme të dritës me të cilën ndriçohet fotokatoda, fotorryma pushon së rrjedhuri për vlera të ndryshme të tensionit frenues.	Energjia kinetike maksimale e fotoelektroneve varet nga frekuenca e dritës.
4.	Lloji i metalit dhe frekuenca e dritës	Nën një vlerë të caktuar të frekuencës së dritës, fotoefekti nuk shfaqet, pavarësisht nga intensiteti i saj.	Për çdo metal ekziston një kufiri i kuq i efektit fotoelektrik.
5.	Koha e shfaqjes së fotoelektroneve	Fotoelektronet shfaqen pothuajse menjëherë gjatë ndriçimit me dritë, frekuenca e së cilës është më e madhe se kufiri i kuq për atë metal.	Energjia nuk transmetohet gradualisht, por nëpërmjet ngjarjeve diskrete (kuantike).

Tabela 1. Përfundime nga studimi i efektit fotoelektrik të jashtëm



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Nga shpërndarja e dritës së Diellit, J. J. Thomsoni llogariti se rrezja e elektronit është $2,82 \cdot 10^{-15}$ m. Mbi elektronin, të cilin në këtë rast do ta konsiderojmë si disk, bie dritë diellore me intensitet 520 W/m^2 Për të verifikuar nëse modeli klasik valor i dritës mund ta shpjegojë efektin fotoelektrik, do të supozojmë se drita është një valë klasike dhe se energjia absorbohet gradualisht.

- a) Sa kohë nevojitet që elektroni të fitojë energji të mjaftueshme për ta lëshuar metalin, nëse kjo energji është 1,20 eV?
- b) Sa herë kjo kohë është më e gjatë se koha pas së cilës vërehen fotoelektronet pas ndriçimit të metalit, e cila është $3 \cdot 10^{-9}$ s.

Të dhënat: $r = 2,82 \cdot 10^{-15}$ m, $I = 520 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, $E = 1,20$ eV, $t_f = 3 \cdot 10^{-9}$ s, $E = 1,20 \text{ eV} = 1,92 \cdot 10^{-19}$ J.	Zgjidhje: a) Drita me intensitet I, që bie mbi sipërfaqen e diskut, transmeton fuqinë $P = IS = I\pi r^2$, ku S është syprina e diskut. Meqenëse fuqia paraqet energjinë e transmetuar në njësi të kohës, koha e nevojshme për absorbimin e energjisë prej 1,20 eV përcaktohet nga relacioni: $t = \frac{E}{P} = \frac{E}{I\pi r^2} = 1,48 \cdot 10^7 \text{ s} = 171 \text{ d.}$ b) Sipas fizikës klasike, energjia është madhësi e vazhdueshme, prandaj, për një syprinë kaq të vogël, do të nevojitej një kohë shumë e gjatë që të grumbullohej energji e rendit të disa elektronvolteve. Megjithatë, eksperimentalisht vërehet se fotoelektronet emetohen pothuajse menjëherë pas ndriçimit të metalit.. Raporti ndërmjet kohës së fituar sipas modelit klasik dhe kohës së matur eksperimentalisht për shfaqjen e fotoelektroneve është: $n = \frac{t}{t_f} = 5 \cdot 10^{15}.$ Ky raport jashtëzakonisht i madh tregon qartë se modeli klasik i dritës si valë elektromagnetike nuk mund ta shpjegojë efektin fotoelektrik.
Kërkohet: a) t – ? b) n – ?	

Barazimi i Ajnshtajnit për efektin fotoelektrik

Sipas interpretimit kuantik, drita përbëhet nga grimca të quajtura **fotone**. Energjia e një fotoni është:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda},$$

ku h është konstanta e Plankut, c është shpejtësia e dritës në vakum f është frekuenca e dritës, ndërsa λ është gjatësia e saj valore.

Kur fotoni absorbohet nga një elektron në metal, energjia nuk transmetohet gradualisht, por menjëherë – elektroni e merr të gjithë energjinë e fotonit. Elektronet në metal janë të lidhura në rrjetën kristalore me forca tërheqëse të Kulonit. Prandaj, që elektroni ta lëshojë metalin, duhet të kapërcejë një pengesë energjetike.

Energjia minimale e nevojshme që elektroni të dalë nga metali quhet puna dalëse dhe shënohet me A . Puna dalëse është e ndryshme për metale të ndryshme: sa më e madhe të jetë A , aq më fort janë të lidhura elektronet me metalin. Energjia që elektroni merr nga fotoni përdoret për çlirimin e tij nga rrjeta kristalore, ndërsa pjesa e mbetur shndërrohet në energji kinetike të fotoelektronit. Kjo shprehet me barazimin e Ajnshtajnit për fotoefektin:

$$hf = A + E_{k,\max}, \text{ përkatësisht } hf = A + \frac{mv^2}{2},$$

ku $E_{k,\max}$ është energjia kinetike maksimale e fotoelektroneve, m është masa e tyre, ndërsa v është shpejtësia maksimale me të cilën fotoelektronet mund ta lëshojnë metalin.

Në këtë barazim paraqiten energjia kinetike maksimale dhe shpejtësia maksimale, sepse fotoelektronet nuk emetohen me të njëjtën energji kinetike. Një pjesë e elektroneve vijnë nga shtresat më të thella të metalit dhe humbasin energji gjatë përplasjeve derisa të arrijnë në sipërfaqe.

Ndërkaq, elektronet nga shtresat sipërfaqësore dalin me humbje më të vogla ose pa humbje të energjisë kinetike. Prandaj, me barazimin e Ajnshtajnit mund të përcaktohet vetëm energjia kinetike maksimale.

Nga ky barazim shihet qartë pse rritja e intensitetit të dritës nuk e rrit energjinë kinetike të fotoelektroneve. Energjia e fotonit varet nga frekuenca. Rritja e intensitetit nënkupton më shumë fotone në njësi të kohës prandaj shkëputen më shumë elektrone (fotorrymë më e madhe). Megjithatë, energjia e fotoelektroneve të veçanta përcaktohet nga frekuenca e dritës dhe nga puna dalëse e metalit:

$$E_{k,\max} = hf - A.$$

Nga barazimi i Ajnshtajnit për fotoefektin rrjedh drejtpërdrejt ekzistenca e kufirit të kuq të efektit fotoelektrik. **Nëse energjia e fotonit është më e vogël se puna dalëse e metalit, përkatësisht nëse vlen $hf < A$, nga metali nuk emetohen fotoelektrone.** Kur energjia e fotonit është e barabartë me punën dalëse, fotoelektronet emetohen, por pa energji kinetike, përkatësisht $E_{k,\max} = 0$. Nga kjo gjendje kufitare fitohet frekuenca kufitare (më e vogël) e dritës, në të cilën fotoefekti ende mund të shfaqet:

$$hf_g = A \Rightarrow f_g = \frac{A}{h}.$$

Duke përdorur lidhjen ndërmjet frekuencës dhe gjatësisë valore të valës elektromagnetike, mund të përcaktohet edhe **gjatësia valore kufitare** (kufiri i kuq) për metalin e dhënë:

$$h \frac{c}{\lambda_g} = A \Rightarrow \lambda_g = \frac{hc}{A}.$$

Kjo tregon edhe një herë se, nëse drita nuk ka frekuencë mjaft të madhe, përkatësisht nëse gjatësia e saj valore është më e madhe se gjatësia valore kufitare, efekti fotoelektrik nuk shfaqet, pavarësisht se sa rritet intensiteti i dritës. Intensiteti më i madh nënkupton më shumë fotone për sekondë, por nëse çdo foton ka energji $hf < A$, asnjëri prej tyre nuk mund ta çlirojë vetë një elektron.

Në fund, mund të përfundohet se bashkëveprimi ndërmjet fotonit dhe elektronit i ngjan përplasjes së dy grimcave, me ç'rast bartja e energjisë ndodh në çast. Energjia e fotonit është e lokalizuar dhe transferohet në një ngjarje diskrete, ndryshe nga modeli valor klasik, ku energjia është e shpërndarë në hapësirë.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Molibdeni ka punë dalëse prej 4,20 eV.

- Përcaktoni gjatësinë valore kufitare dhe frekuencën kufitare të efektit fotoelektrik për këtë metal.
 - Sa është tensioni frenues për rrezatimin me gjatësi valore 185 nm?
 - Llogaritni shpejtësinë me të cilën fotoelektronet shkëputen nga molibdeni.
- Masa dhe ngarkesa e elektronit, shpejtësia e dritës dhe konstanta e Plankut janë të njohura.

Të dhënat:

$\lambda = 185 \text{ nm}$,
 $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$,
 $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$
 $A = 6,27 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Kërkohet: :

- λ_g -?
- U_z -?
- v -?

Zgjidhje::

a) Gjatësia valore kufitare është gjatësia valore më e madhe në të cilën ende ndodh emetimi i fotoelektroneve nga sipërfaqja e metalit, por fotoelektronet nuk kanë energji kinetike. Nga barazimi për efektin fotoelektrik kemi:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + E_k. \quad E_k = 0 \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_g} = A \Rightarrow \lambda_g = \frac{hc}{A} = 295 \text{ nm}.$$

Duke marrë parasysh lidhjen ndërmjet frekuencës dhe gjatësisë valore të valës elektromagnetike, për frekuencën kufitare kemi: $f_g = \frac{c}{\lambda_g} = \frac{c}{\frac{hc}{A}} = \frac{A}{h} = 1,0 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$.

b) Kur ndërmjet anodës dhe katodës zbatohet një diferencë potenciali e barabartë me tensionin frenues, e gjithë energjia kinetike maksimale e elektroneve shndërrohet në energji potenciale dhe ndërmjet anodës dhe katodës nuk kalon rrymë, përkatësisht: $E_{k,\max} = eU_z$. mund të shkruajmë:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + eU_z \Rightarrow U_z = \frac{1}{e} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right) = 2,5 \text{ V}.$$

c) Duke marrë parasysh lidhjen ndërmjet energjisë kinetike dhe shpejtësisë së elektroneve, kemi:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2}{m} \left(\frac{hc}{\lambda} - A \right)} = 9,4 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

Zbatimi i efektit fotoelektrik të jashtëm

Efekti fotoelektrik i jashtëm përdoret në pajisje në të cilat drita duhet të shndërrohet në sinjal elektrik me ndjeshmëri të lartë dhe reagim të shpejtë. Në jetën e përditshme haset më së shpeshti te fotoqelizat dhe sensorët e dritës të integruar në sisteme automatike, si: hapja dhe mbyllja automatike e dymve, numërimi dhe klasifikimi i objekteve në linjat e prodhimit dhe kontrollimi i ndriçimit. Për shembull, fotoqeliza e lidhur me një llambë rruge (figura 6) regjistron zvogëlimin e ndriçimit dhe e lidh automatikisht llambën me rrjetin elektrik të qytetit.

Efekti fotoelektrik i brendshëm

Efekti fotoelektrik i brendshëm është dukuri gjatë së cilës drita nuk i nxjerr elektronet jashtë materialit (si tek efekti fotoelektrik i jashtëm), por shkakton ndryshime brenda tij. Kur një gjysmëpërçues ose izolator ndriçohet me rrezatim me energji mjaft të madhe, fotonet mund t'u transmetojnë energji elektroneve të materialit, duke bërë që ato të kalojnë nga gjendje me energji më të ulët në gjendje me energji më të lartë. Në gjysmëpërçues, kjo zakonisht do të thotë se elektronet kalojnë nga gjendja e lidhur në një gjendje në të cilën mund të lëvizin. Si pasojë, në material krijohen bartës të lirë të ngarkesës: **çift elektron–zbrazëtirë (vrimë)**. Zbrazëtira janë vendet nga të cilat janë larguar elektronet nën veprimin e dritës. Ato mund të konsiderohen si bartës të ngarkuar pozitivisht, ngarkesa e të cilëve është e barabartë për nga madhësia me ngarkesën e elektronit. Me krijimin e bartësve të lirë të ngarkesës ndryshon përçueshmëria elektrike e materialit, pa e lëshuar elektronet sipërfaqen e tij.

Efekti fotoelektrik i brendshëm ka dy zbatime veçanërisht të rëndësishme në teknikë. Zbatimi i parë është **fotopërçueshmëria**: gjatë ndriçimit, përçueshmëria elektrike e gjysmëpërçuesit rritet, sepse krijohen më shumë bartës të ngarkesës. Përkatësisht, për të njëjtin tension të zbatuar në skajet e gjysmëpërçuesit, nëpër të do të

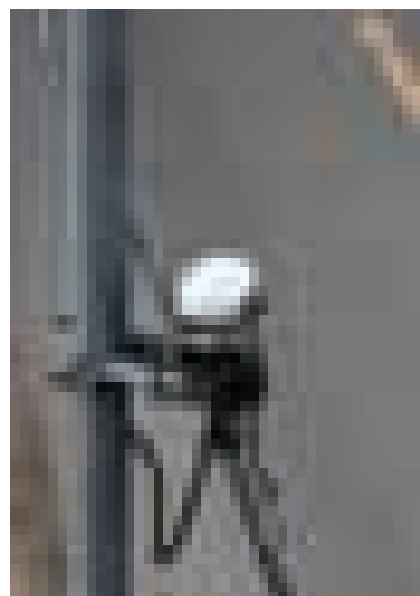


Figura 6. Fotoqeliza si ndërprerës i një llambe rruge

kalojë rrymë me intensitet më të madh. Ky është parimi i funksionimit të shumë sensorëve të dritës dhe fotodetektorëve.

Dukuria e dytë është **efekti fotovoltaiik**, i cili shfaqet në disa struktura gjysmëpërçuese. Kur vihen në kontakt një gjysmëpërçues me mungesë elektronesh, i quajtur gjysmëpërçues i tipit p, dhe një gjysmëpërçues me tepriçë elektronesh të lira, i quajtur gjysmëpërçues i tipit n, dhe kontakti i tyre ekspozohet ndaj dritës, mund të krijohet **forcë elektromotore (ose fototension)**. Strukturat e tilla gjysmëpërçuese quhen edhe **qeliza fotovoltaike** ose thjesht **fotoqeliza**. Nëse fotoqeliza lidhet në një qark të jashtëm, nëpër të kalon rrymë elektrike. Fotoqelizat janë njësitë themelore përbërëse të paneleve diellore.

Zbatimet e efektit fotoelektrik të brendshëm janë të shumta dhe të pranishme në jetën e përditshme. Qelizat diellore shndërrojnë një pjesë të rrezatimit diellor në energji elektrike dhe përdoren në pajisje që nga kalkulatorët e vegjël deri te centralët e mëdha fotovoltaike. Në këtë mënyrë, efekti fotoelektrik i brendshëm paraqet një nga lidhjet më të rëndësishme ndërmjet natyrës kuantike të dritës dhe elektronikës bashkëkohore, sepse mundëson shndërrimin e dritës në sinjal elektrik ose në energji elektrike të dobishme.

Arsyeshmëria ekologjike e përdorimit të paneleve diellore

Gjatë vlerësimit të arsyeshmërisë ekologjike të paneleve diellore, nuk mjafton të shqyrtohet vetëm ndikimi i tyre gjatë funksionimit, por duhet të merret parasysh i gjithë cikli i tyre jetësor: prodhimi, përdorimi dhe trajtimi si mbetje, përkatësisht mundësitë e riciklimit.

Një përparësi e madhe e paneleve diellore është se gjatë funksionimit nuk djegin lëndë djegëse fosile dhe nuk çlirojnë gaze e grimca të dëmshme në vendin e përdorimit. Në këtë mënyrë zvogëlohen ndotja e ajrit dhe emetimi i gazeve serrë, veçanërisht kur energjia diellore zëvendëson energjinë elektrike të prodhuar nga burimet fosile. Përveç kësaj, panelet zakonisht vendosen mbi çatitë ose infrastrukturën ekzistuese, prandaj në shumë raste nuk shkaktojnë ndryshime të përhershme në mjedisin natyror, ndryshe nga minierat e qymyrit dhe deponitë e hirit të termocentraleve.

Nga ana tjetër, analiza ekologjike nuk është e plotë nëse shpërfillen sfidat. Prodhimi i paneleve diellore kërkon lëndë të para dhe sasi të konsiderueshme energjie, ndërsa pas përfundimit të jetëgjatësisë së tyre nevojiten sisteme të organizuara për grumbullimin dhe riciklimin. Përveç kësaj, prodhimi i energjisë elektrike nga panelet diellore nuk është i vazhdueshëm, sepse varet nga cikli ditë dhe vjetor, nga vranësirat dhe nga kushtet atmosferike. Prandaj, në sistemet energjetike, energjia diellore duhet të kombinohet me burime të tjera.

Kur prodhimi është i madh gjatë ditës ose gjatë verës, nevojiten edhe sisteme për ruajtjen e energjisë (për shembull, bateri), në mënyrë që energjia elektrike të përdoret më vonë, për shembull gjatë natës. Nga kjo rrjedh se përdorimi i paneleve diellore është i arsyeshëm nga aspekti ekologjik kur ato janë pjesë e një sistemi energjetik të organizuar mirë: kur prodhohen me cilësi, kanë jetëgjatësi të madhe dhe ekziston një plan i qartë për riciklimin e tyre, **si dhe kur e zëvendësojnë realisht energjinë elektrike të prodhuar nga lëndët djegëse fosile.**

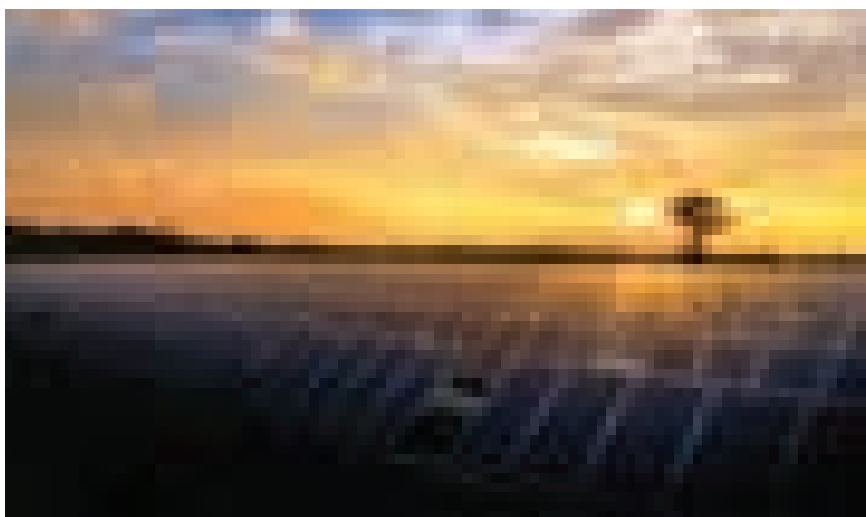


Figura 7. Central fotovoltaiik



MËSO MË SHUMË

Fotomultiplikatorët

Në shkencë, efekti fotoelektrik i jashtëm përbën bazën e spektroskopisë fotoelektronike, një metodë me të cilën studiohen përbërja kimike dhe struktura elektronike e sipërfaqeve të materialeve. Ai është gjithashtu parimi mbi të cilin mbështetet funksionimi i tubave fotomultiplikues. Këta janë detektorë jashtëzakonisht të ndjeshëm ndaj sinjaleve shumë të dobëta të dritës dhe përdoren në eksperimentet me scintilatorë dhe në detektorët e grimcave. Në këta detektorë, kuantet me energji të lartë të rrezatimit jonizues bien mbi kristalin scintilues. Si rezultat i bashkëveprimit të rrezatimit me kristalin, emetohen fotone me energji të caktuar. Këto fotone bien mbi fotokatodën e tubit fotomultiplikues, duke shkaktuar shkëputjen e fotoelektroneve. Më pas, nëpërmjet një sistemi me disa elektroda (dinoda) brenda tubit, numri i elektroneve rritet me anë të emetimit sekondar. Në këtë mënyrë krijohet një sinjal elektrik mjaft i fuqishëm, i cili mund të regjistrohet me pajisje elektronike matëse, duke mundur detektimin e rrezatimit jonizues. Procesi i detektimit të rrezatimit jonizues me tub fotomultiplikues është paraqitur në figurën 8.

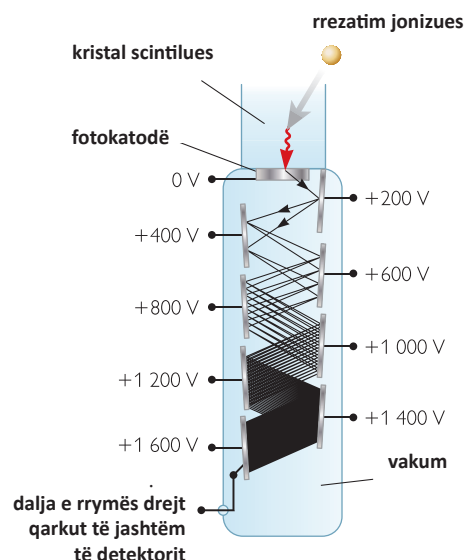


Figura 8. Tub fotomultiplikues për regjistrimin e rrezatimit jonizues



PYETJE DHE DETYRA

- Çfarë ndryshimi mund të pritet nëse, në vend të fotokatodës metalike, në eksperimentin për studimin e efektit fotoelektrik të jashtëm vendoset një gaz?
- Metalet e ndryshme kanë punë të ndryshme dalëse të elektroneve. Çfarë mund të përfundosh për vetitë e metaleve?
- Në një fotodiodë përdoret një metal me kufi të kuq të fotoefektit prej 540 nm:
 - Llogarit punën dalëse të metalit
 - A do të shfaqet fotoefekti nëse katoda ndriçohet me dritë me gjatësi valore 600 nm? (Zgjidhja a) 2,3 eV, b) jo)
- Në eksperimentin për përcaktimin e konstantës së Plankut me anë të efektit fotoelektrik është konstatuar se nevojitet një tension frenues prej 1,0V për ndalimin e të gjitha elektroneve, kur përdoret gjatësi valore 250 nm ndërsa për dritën rënëse me gjatësi valore 200 nm. nevojitet tension frenues prej 2,4V. Nga këto të dhëna përcaktoni:
 - konstantën e Plankut;
 - vlerën e punës dalëse të fotokatodës;
 - frekuencën e dritës rënëse të përdorur;
 - energjinë kinetike të fotoelektroneve.
 (Zgjidhja b) 4,6 eV, c) $1,2 \cdot 10^{15}$ Hz dhe $1,5 \cdot 10^{15}$ Hz d) $1,6 \cdot 10^{-19}$ J dhe $3,85 \cdot 10^{-19}$ J).
- Dritë me gjatësi valore të panjohur λ_1 bie mbi një fotokatodë dhe në një tension të caktuar $U_{z1} > 0$ fitorryma ndërpritet. Kur e njëjta fotokatodë ndriçohet me dritë me gjatësi valore $\lambda_2 = 0,45 \mu\text{m}$

tensioni frenues bëhet U_{z2} . Nëse ndryshimi ndërmjet dy tensioneve frenuese është 1,7 V, përcaktoni gjatësinë valore të panjohur λ_1 . (Zgjidhja 280 nm)

6. Gjatë ndriçimit të sipërfaqes së një metali me dritë me gjatësi valore 320 nm dhe 580 nm, shpejtësitë maksimale të fotoelektroneve ndryshojnë dy herë. Sa është puna dalëse e elektroneve nga metali i dhënë? Llogaritni kufirin e kuq të metalit. (Zgjidhja 1,56 eV dhe 795 nm)
7. Në laborator është përcaktuar puna dalëse e elektroneve nga sipërfaqja e një metali të caktuar. Gjatë eksperimentit është matur tensioni frenues në varësi të gjatësisë valore të dritës që bie mbi metal, ndërsa rezultatet janë dhënë në tabelën e mëposhtme.

$\lambda[\text{nm}]$	100	120	140	160	180	200
$U_z(\text{V})$	7,5	5,6	4,0	2,9	2,1	1,4

Gjatë analizës përdorni edhe vlerat numerike të këtyre konstantave: ngarkesa e elektronit:

$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, dhe shpejtësia e dritës në vakum $2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

- Paraqitini rezultatet në grafik, duke vendosur në boshtin x vlerën reciproke të gjatësisë valore, ndërsa në boshtin y tensionin frenues. Tërhiqni një drejtëz ndërmjet pikave.
- Përcaktoni koeficientin e drejtimit dhe pikëprerjen e drejtëzës me boshtin y. (Zgjidhja: -4,74 eV)
- Me ndihmën e rezultateve të fituara në kërkesën paraprake, përcaktoni vlerën e konstantës së Plankut dhe punën dalëse të metalit, të shprehur në eV. (Zgjidhja $6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$, 4,7 eV)
- Përcaktoni gjatësinë valore më të madhe në të cilën ende mund të shpëputen elektrone nga metali. (Zgjidhja: 260 nm)
- Përcaktoni gjatësinë valore të dritës me të cilën mund të fitohen fotoelektrone me energji kinetike maksimale prej 10 eV. (Zgjidhja: 83 nm)

4.3. Modelet e atomit

Në mësimet e mëparshme pamë se fizika klasike ka kufizime serioze kur bëhet fjalë për dritën dhe rrezatimin. Probleme të ngjashme shfaqen edhe kur përpiqemi të përshkruajmë strukturën e atomit. Eksperimentet që fizikanët dhe kimistët kryen nga fundi i shekullit XIX dhe fillimi i shekullit XX treguan se atomi, si njësi themelore përbërëse e elementeve, ka strukturë të brendshme. Nga zbulimet që lidhen me Sistemin periodik të elementeve, rrezet katodike, shkarkimet elektrike në gazet e rralluara, elektrolizën dhe radioaktivitetin rezulton se atomi nuk është grimcë e pandashme, por një strukturë e ndërlikuar që përmban bartës të ngarkesës elektrike.

Sot e dimë se atomi përbëhet nga një bërthamë që përmban protone dhe neutrone, e rrethuar nga elektronet. Megjithatë, kjo pamje nuk është aspak e vetëkuptueshme. Pyetja: „Si janë të shpërndara elektronet në atom dhe pse atomi është i qëndrueshëm?“ ka një histori të gjatë, e cila na çon deri te modeli i sotëm i atomit. **Modeli i atomit është një paraqitje fizike e idealizuar e strukturës së atomit real dhe e shpërndarjes së ngarkesës e të masës, me ndihmën e së cilës shpjegohen rezultatet eksperimentale.** Zhvillimi i modeleve të atomit është një shembull tipik i metodës shkencore: çdo model pranohet përdërisa i shpjegon me sukses faktet eksperimentale, ndërsa rishikohet ose zëvendësohet kur paraqiten njohuri të reja.

Modeli i Tomsonit për atomin

Pas zbulimit të elektronit, u bë e qartë se atomet përmbajnë grimca të elektrizuara negativisht. Meqenëse atomi në tërësi është elektroneutral duhet të ekzistojë edhe një ngarkesë pozitive, madhësia e së cilës është e barabartë me ngarkesën e përgjithshme negative të elektroneve. Në bazë të këtij përfundimi, Xhozef Xhon Tomsoni në vitin 1897 propozoi modelin e parë të atomit..

Sipas modelit të Tomsonit, atomi paraqet një hapësirë sferike, në të cilën ngarkesa pozitive është e shpërndarë në mënyrë të njëtrajtshme në të gjithë vëllimin e atomit, ndërsa elektronet e vendosura brenda tij lëkundën rreth pozitive të ekuilibrit (figura 1). Në këtë mënyrë, atomi është elektroneutral. Ky model e shpjegoi me sukses neutralitetin elektrik të atomit dhe ofroi një pamje të thjeshtë të qëndrueshmërisë së tij, si dhe të formimit të joneve pozitive dhe negative.

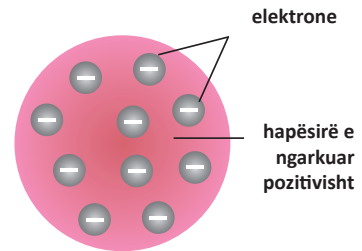


Figura 1. Paraqitje e thjeshtuar e modelit të Tomsonit për atomin

Shpërndarja e Raderfordit

Edhe pse modeli i Tomsonit e shpjegonte me sukses neutralitetin elektrik të atomit, u shtrua pyetja nëse ai e përshkruante saktë edhe shpërndarjen e brendshme të ngarkesës dhe të masës në atom. Për ta kontrolluar këtë, u krye një nga eksperimentet më të rëndësishme në zhvillimin e fizikës atomike – eksperimenti i shpërndarjes së Raderfordit.

Eksperimenti u krye në laboratorin e Ernest Raderfordit, me qëllim që të studiohej në mënyrë eksperimentale shpërndarja e ngarkesës dhe e masës në atom, si dhe të kontrollohej nëse modeli i Tomsonit mund t'i shpjegonte rezultatet e shpërndarjes. Eksperimentin e kryen Hans Gajgeri dhe Ernest Marsdeni, duke përdorur polonium radioaktiv (^{214}Po). Poloniumi është emetues i grimcave alfa (grimcave α) të cilat janë bërthama heliumi (^4He). të jonizuara dyfish. Grimcat alfa kalonin nëpër një kolimator, për të përftuar një tufë të ngushtë dhe pothuajse paralele, e cila më pas kahëzohej drejt një flete shumë të hollë ari. Rreth fletës ishte vendosur një detektor, i cili përbëhej nga një ekran fluoreshent prej sulfuri të zinkut. Sulfuri i zinkut ka vetinë të emetojë dritë kur mbi të bie një grimcë α . (figura 2).

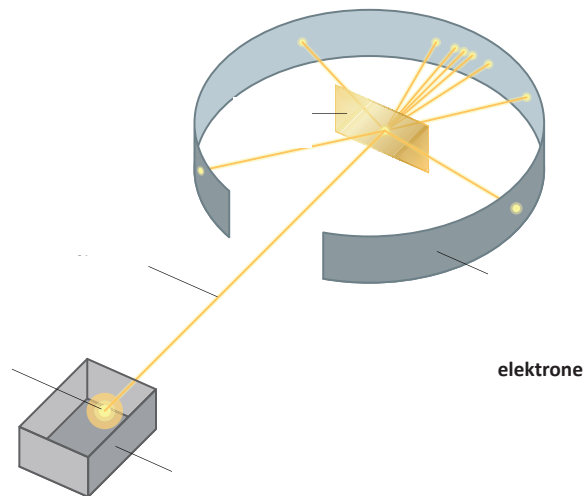


Figura 2. Paraqitje skematike e eksperimentit të Raderfordit. Për thjeshtimin e figurës, detektori është paraqitur si një shirit që e rrethon fletën e hollë prej ari.

Nëse modeli i Tomsonit do të ishte plotësisht i saktë, pritej që grimcat α gjatë kalimit nëpër atome, të devijonin vetëm pak nga drejtimi fillestar. Kjo për shkak të shpërndarjes së njëtrajtshme të ngarkesës pozitive dhe mungesës së një fushe të fortë elektrike në një pjesë të caktuar të hapësirës. Megjithatë, rezultatet eksperimentale treguan diçka tjetër. Pjesa më e madhe e grimcave α kalonin nëpër fletën e hollë pothuajse pa devijuar. Kjo tregonte se pjesa më e madhe e atomit është hapësirë e zbrazët, përkatësisht se largësia ndërmjet elektroneve dhe ngarkesës pozitive është shumë e madhe. Një numër i vogël grimcash shpërndaheshin në kënde shumë të mëdha, ndërsa afërsisht një grimcë α në çdo 8000 grimca kthehej prapa drejt burimit.

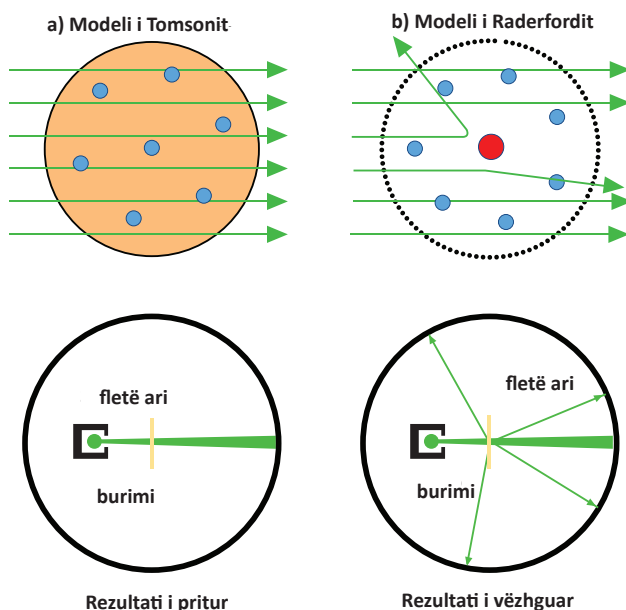


Figura 3. a) Parashikimi i modelit të Tomsonit
b) Modeli i Raderfordit dhe rezultatet e vëzhguara

Ky rezultat i papritur tregonte se grimcat zbrapseshin nga diçka shumë masive, e ngarkuar elektrikisht dhe e përqendruar në një pjesë shumë të vogël të hapësirës së atomit (figura 3).

Në bazë të këtyre rezultateve, Raderfordi arriti në përfundimin se ngarkesa pozitive nuk është e shpërndarë në mënyrë të njëtrajtshme në atom, por është e përqendruar në një pjesë qendrore shumë të vogël të tij. Shpërndarja e Raderfordit paraqet dëshminë e parë eksperimentale se pothuajse e gjithë masa dhe ngarkesa pozitive e atomit janë të përqendruara në bërthamën atomike. Sipas Raderfordit, bërthama ka rreze të rendit të madhësisë 10^{-15} m ndërsa sot dihet se rrezet e bërthamave atomike janë afërsisht në intervalin nga 1 deri në 8 fm (femtometra, $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$).

Edhe pse ky eksperiment tregoi qartë se modeli i Tomsonit nuk e pasqyron strukturën reale të atomit, ky model nuk mund të shpjegonte as të dhëna të tjera eksperimentale. Modeli i Tomsonit nuk mund ta shpjegojë

karakterin jotëvazhdueshëm të spektrave të emetimit të atomeve. Në të vërtetë, nëse elektronet do të lëkundeshin rreth pozitave të ekuilibrit, ato do të mund ta ndryshonin energjinë e tyre në mënyrë të vazhdueshme. Kjo do të thoshte se edhe spektrat e emetimit të atomeve duhej të ishin të vazhdueshëm. Këto fakte eksperimentale treguan se nevojitej një model i ri i atomit, i cili do ta përshkruante më mirë strukturën e tij të brendshme. Prandaj, në vitin 1911, Ernest Raderfordi propozoi një model të ri të atomit, të quajtur modeli bërthamor (nuklear), i cili përbënte një hap vendimtar në zhvillimin e fizikës atomike.

Modeli i Raderfordit për atomin

Sipas modelit të Raderfordit, ngarkesa pozitive dhe pothuajse e gjithë masa e atomit ndodhen në një pjesë qendrore shumë të vogël të tij, të quajtur bërthamë atomike. Elektronet lëvizin rreth bërthamës në largësi shumë më të mëdha se përmasat e saj. Nga kjo rrjedh se pjesa më e madhe e hapësirës së atomit është e zbrazët, për sa i përket shpërndarjes së masës dhe të ngarkesës pozitive. Bërthama ka masë të madhe dhe është e ngarkuar pozitivisht, ndërsa elektronet, me ngarkesën e tyre negative, sigurojnë neutralitetin elektrik të atomit.

Me këtë model u shpjeguan njëherësh disa rezultate eksperimentale thelbësore. Së pari, modeli shpjegoi pse pjesa më e madhe e grimcave α kalojnë nëpër fletën e arit pothuajse pa devijuar nga drejtimi fillestar: në shumicën e rasteve ato nuk kalojnë mjaft afër bërthamës, prandaj veprimi elektrostatik mbi to është i dobët dhe trajektorja mbetet pothuajse drejtvizore. Së dyti, modeli jep një shpjegim të natyrshëm për rastet e rralla të devijimeve të mëdha: kur grimca α kalon shumë pranë bërthamës, shtytja e fuqishme e Kulonit mund t'ia ndryshojë ndjeshëm drejtimin e lëvizjes, duke shkaktuar shpërndarjen e saj në kënde të mëdha. Së treti, nga fakti se devijimet e mëdha janë të rralla, rrjedh se bërthama duhet të ketë përmasa shumë të vogla në krahasim me të gjithë atomin. Në këtë mënyrë, modeli i Raderfordit e paraqiti qartë strukturën bërthamore të atomit dhe vendosi bazën për studimet e mëtejshme të dukurive bërthamore.

Sipas fizikës klasike, një atom i tillë nuk mund të jetë i qëndrueshëm. Nëse elektronet lëvizin rreth bërthamës nëpër trajektore rrethore, ato lëvizin me nxitim të vazhdueshëm centripetal. Sipas elektrodinamikës klasike, çdo ngarkesë elektrike që lëviz me nxitim duhet të emetojë rrezatim elektromagnetik. Kjo do të thotë

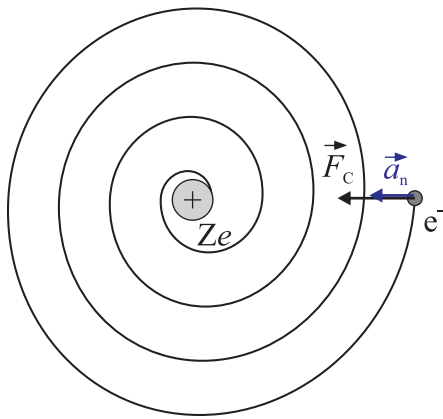


Figura 4. Lëvizja me nxitim e elektronit rreth bërthamës në modelin e Raderfordit për atomin

se elektroni do të humbiste gradualisht energji, do t'i afrohej bërthamës dhe brenda një kohe shumë të shkurtër, do të „binte“ në të. Kjo bie ndesh me faktin eksperimental se atomet janë të qëndrueshme.

Përveç kësaj, modeli nuk mund t'i shpjegojë spektrat vijorë të atomeve. Nëse elektroni në modelin e Raderfordit mund të ketë energji të çfarëdoshme dhe gjatë lëvizjes emeton rrezatim në mënyrë të vazhdueshme, atëherë do të pritej një spektër atomik i vazhdueshëm dhe jo vijor. Në mësimin 4.1 u njohëm me pamjen e spektrit vijor të atomit të hidrogjenit. Kjo tregon se në atom duhet të ekzistojnë gjendje energjetike të përcaktuara saktësisht dhe se rrezatimi shfaqet vetëm gjatë kalimeve ndërmjet tyre, gjë që modeli i Raderfordit nuk e shpjegon.

Prandaj, modeli i Raderfordit përbën një hap të domosdoshëm, por jo të mjaftueshëm, në zhvillimin e teorisë së atomit. Ai paraqet strukturën bërthamore (nukleare) të atomit dhe i shpjegon me sukses rezultatet e shpërndarjes, por

tregon qartë nevojën për parime të reja fizike që do të shpjegojnë qëndrueshmërinë e atomit dhe karakterin diskret të spektrave atomikë. Kjo nevojë çoi në paraqitjen e ideve kuantike për shpjegimin e strukturës së atomit, të cilat do të shqyrtohen nëpërmjet modelit të Borit për atomin.

Modeli i Borit për atomin

Pamundësia për të shpjeguar me modelin e Raderfordit qëndrueshmërinë e atomit dhe spektrat vijorë tregoi se fizika klasike nuk ishte e mjaftueshme për përshkrimin e proceseve në atom. Për të shpjeguar qëndrueshmërinë e atomit dhe lëvizjen e elektronit rreth bërthamës, si dhe njëkohësisht karakterin vijor të spektrave atomikë, ishte e nevojshme të paraqiteshin parime të reja, joklasike..

Duke u mbështetur në idenë e kuantizimit të energjisë, Nils Bori, në vitin 1913, propozoi një model që e ruante strukturën bërthamore të atomit të paraqitur nga Raderfordi, por e plotësonte atë me kushte kuantike. Me këto përmirësime u përftua **modeli i Borit për atomin**. Modeli i Borit e shpjegon me sukses qëndrueshmërinë e atomit të hidrogjenit dhe të të gjitha atomeve e joneve që përbëhen nga një bërthamë me ngarkesë Ze (ku Z është numri i protoneve) dhe nga një elektron që lëviz rreth bërthamës (^2H , ^3H , He^+ , Li^{2+} , Be^{3+} etj.). Këto atome ose jone quhen me një emër të përbashkët quhen **atome të ngjashme me hidrogjenin**. Me modelin e Borit u shpjeguan edhe spektrat jotëvazhdueshëm (vijorë) të këtyre atomeve.

Sipas modelit të Borit, elektroni lëviz rreth bërthamës nëpër **orbita stacionare** që nuk janë të çfarëdoshme. Përkundrazi, lejohen vetëm orbita të caktuara, për të cilat vlejné kushte të veçanta kuantike. Këto kushte nuk kanë bazë në mekanikën klasike, por u dëshmuuan të domosdoshme për shpjegimin e qëndrueshmërisë së atomit dhe të spektrave të tij vijorë. Edhe pse përdoret termi orbitë, këto orbita nuk duhet të interpretohen si trajektore reale klasike, por si pjesë e një modeli të thjeshtuar kuantik.

Në themel të teorisë së Borit për atomin qëndrojnë postulatet – supozime që nuk mund të mbështeten ose të arsyetohen brenda fizikës klasike dhe që sot njihen si **postulatet e Borit**:

1. Postulati për gjendjet stacionare

Elektroni në atom mund të ndodhet vetëm në gjendje të caktuara energjetike stacionare, përkatësisht kuantike, me energji të përcaktuar saktësisht. Çdo gjendjeje energjetike stacionare i përgjigjet një orbitë stacionare e përcaktuar saktësisht, nëpër të cilën lëviz elektroni. Përderisa elektroni ndodhet në një gjendje të tillë stacionare, atomi nuk emeton rrezatim elektromagnetik.

2. Postulati i kuantizimit të momentit të impulsit

Gjatë lëvizjes së elektronit nëpër orbitat stacionare rreth bërthamës, momenti i impulsit $L = m_e v r$ mund të ketë vetëm vlera të caktuara diskrete, të cilat plotësojnë kushtin e dhënë::

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi},$$

ku m_e është masa e elektronit, v_n është shpejtësia me të cilën elektroni lëviz në orbitën e dhënë, ndërsa, r_n është rrezja e orbitës. Me h shënohet konstanta e Plankut, ndërsa $n = 1, 2, 3, \dots$ është numri rendor i orbitës, i quajtur edhe **numri kryesor kuantik**.

3. Postulati i kalimeve kuantike

Emetimi ose absorbimi i rrezatimit ndodh vetëm gjatë kalimit të elektronit nga një gjendje stacionare në një tjetër.

Pasojat e postulateve të Borit

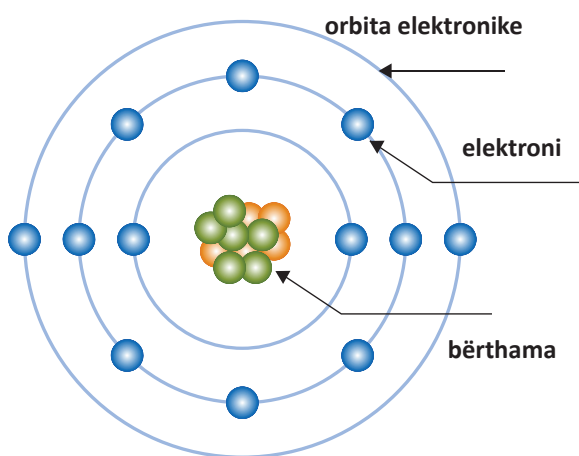


Figura 5. Modeli i Borit për atomin. Elektronet lëvizin nëpër orbita rrethore stacionare rreth bërthamës

Rrezet e orbitave stacionare

Dy postulatet e para të Borit mundësojnë përcaktimin e rrezeve, shpejtësive dhe energjive të elektronit në gjendjet stacionare të një atomi të ngjashëm me hidrogjenin. Rrezet e orbitave stacionare nëpër të cilat mund të lëvizë elektroni llogariten me barazimin përkatës.

$$r_n = \frac{a_0}{Z} \cdot n^2, \text{ ku } n=1,2,3,\dots$$

Nëse shqyrtojmë atomin e hidrogjenit, për të cilin $Z = 1$ mund të shkruajmë barazimin për rrezet e orbitave të tij

$$r_{n,H} = a_0 n^2 \text{ ku } n=1,2,3,\dots$$

Për $n=1$ fitohet rrezja e orbitës së parë e atomit të hidrogjenit, e cila quhet edhe rrezja e Borit.

$$r_{1,H} = a_0.$$

Konstanta në barazim ka vlerën

$$a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m. Vlera e saj llogaritet}$$

nëpërmjet konstantave të tjera themelore, siç është treguar në shembullin e zgjidhur 1.

Një përfundim shumë i rëndësishëm që mund të nxirret nga barazimi për rrezet e atomeve të ngjashme me hidrogjenin është se rrezet e orbitave stacionare nuk mund të kenë vlera të çfarëdoshme. Ato rriten me katrorin e numrit rendor të orbitës, përkatësisht të numrit kryesor kuantik:

$$r_1 : r_2 : r_3 : \dots : r_n = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \dots : n^2.$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Me ndihmën e Ligjit të dytë të Njرتونit për lëvizjen e elektronit me ngarkesë e nën veprimin e forcës tërheqëse të Kulonit nga bërthama me ngarkesë Ze , si dhe duke përdorur postulatit e dytë të Borit, nxirni shprehjet me të cilat mund të llogariten rrezet e orbitave stacionare në modelin e Borit për atomin. Nxirni edhe shprehjen me të cilën llogaritet vlera e rrezes së Borit a_0 .

Zgjidhje:

Duke përdorur Ligjin e dytë të Njرتونit për lëvizjen rrethore, kemi:

$$\vec{F}_c = m_e \vec{a}_n,$$

ku a_n është nxitimi centripetal i elektronit që lëviz në orbitën e n -të, ndërsa m_e është masa e elektronit.

Duke zëvendësuar barazimet për forcën tërheqëse të Kulonit $F_c = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2}$ dhe për nxitimin centripetal $a_n = \frac{v_n^2}{r_n}$ fitohet:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n^2} = m_e \frac{v_n^2}{r_n}.$$

Në barazimin e fundit ϵ_0 është konstanta dielektrike e vakumit. Duke e shprehur shpejtësinë e lëvizjes së elektronit në orbitën e n -të stacionare nga postulati i dytë i Borit:

$$v_n = n \frac{h}{2\pi r_n m_e},$$

dhe duke e zëvendësuar atë në barazimin e fundit për rrezet e orbitave stacionare, fitohet:

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{Ze^2 m_e \pi} \cdot n^2, \quad n=1,2,3,\dots$$

Këto konstanta themelore fizike mund t'i zëvendësojmë me një konstante të vetme:

$$a_0 = \frac{\epsilon_0 h^2}{e^2 m_e \pi}.$$

Duke zëvendësuar vlerat numerike të të gjitha konstantave, fitohet: $a_0 = 0,529 \cdot 10^{-10} \text{ m}$.

Në fund, për rrezet e orbitave stacionare të atomeve të ngjashme me hidrogjenin, kemi:

$$r_n = \frac{a_0}{Z} \cdot n^2, \quad \text{ku } n=1,2,3,\dots$$

Shpejtësia e elektronit në orbitat stacionare

Në modelin e Borit, **shpejtësia e elektronit** në orbitat stacionare ka vlera diskrete dhe varet nga numri kryesor kuantik n . Për një atom të ngjashëm me hidrogjenin, shpejtësia e elektronit në një orbitë stacionare të caktuar mund të llogaritet me barazimin përkatës:

$$v_n = Z v_{1,H} \cdot \frac{1}{n}, \quad n=1,2,3,\dots$$

Shpejtësia e elektronit është më e madhe në orbitën e parë, e cila ka edhe rrezet më të vogël ($n=1$). Me rritjen e numrit rendor të orbitës, shpejtësia e elektronit zvogëlohet. Konstanta në barazim ka vlerën $v_{1,H} = 2,189 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ dhe paraqet shpejtësinë me të cilën elektroni lëviz në orbitën e parë stacionare të atomit të hidrogjenit, ndërsa Z është numri i protoneve. Për mënyrën e nxjerrjes së barazimit të mësipërm dhe përcaktimin e vlerës numerike të konstantës së proporcionalitetit, shih shembullin e zgjidhur 2.

Elektroni në atomet e ngjashme me hidrogjenin nuk mund të lëvizë nëpër orbitat stacionare me shpejtësi të çfarëdoshme. Për shpejtësitë e elektronit në orbitat stacionare të këtyre atomeve vlen:

$$v_1 : v_2 : v_3 : \dots : v_n = \frac{1}{1} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \dots : \frac{1}{n}.$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Duke përdorur postulatit e dytë të Borit dhe shprehjen për rrezet e orbitave stacionare, nxirni shprehjen për shpejtësinë e elektronit në orbitat stacionare të një atomi të ngjashëm me hidrogjenin. Përcaktoni shpejtësinë e elektronit në orbitën e parë stacionare të atomit të hidrogjenit.

Zgjidhje:

Sipas postulatit të dytë të Borit, momenti këndor i elektronit në një orbitë stacionare ka vlera diskrete dhe vlen:

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi}.$$

Nga barazimi, shpejtësia e elektronit në orbitën e n -të stacionare mund të shprehet si:

$$v_n = \frac{nh}{2\pi r_n m_e}.$$

Duke zëvendësuar shprehjen për rrezet e orbitave stacionare,

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{Ze^2 m_e \pi} \cdot n^2,$$

fitohet shpejtësia e elektronit, e cila mund të shkruhet në formën:

$$v_n = \frac{Ze^2}{2\epsilon_0 h} \frac{1}{n}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Nga kjo shprehje shihet se shpejtësia e elektronit në orbitat stacionare është madhësi diskrete dhe është në përpjesëtim të zhdrejtë me numrin kryesor kuantik. Elektroni ka shpejtësinë më të madhe në orbitën e parë stacionare, përkatësisht në orbitën me rrezet më të vogël. Për atomin e hidrogjenit ($Z = 1$), shpejtësia e elektronit në orbitën e n -të stacionare është:

$$v_{n,H} = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h} \frac{1}{n}.$$

Per $n = 1$ fitohet shpejtësia e elektronit në orbitën e parë stacionare:

$$v_{1,H} = 2,189 \cdot 10^6 \text{ m/s}.$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Një elektron ndodhet në orbitën e n -të të Borit në atomin e hidrogjenit.

a) Tregoni se perioda e rrotullimit rreth bërthamës mund të shkruhet si $T = t_0 n^3$ dhe llogaritë vlerën e konstantës t_0 . Vlerat e masës dhe të ngarkesës së elektronit konsiderohen të njohura.

b) Mesatarisht, elektroni qëndron në orbitën e dytë rreth $12 \mu\text{s}$ para se të kalojë në orbitën e parë. Sa rrotullime të plota kryen elektroni i atomit të hidrogjenit në gjendjen e parë të ngacmuar?

Të dhënat:

$$t = 12 \cdot 10^{-6} \text{ s}, m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg},$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s},$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{Nm}^2)$$

Kërkohet:a) t_0 - ? b) N - ?**Zgjidhje:**

a) Perioda gjatë së cilës elektroni kryen një rrotullim të plotë rreth bërthamës së atomit të hidrogjenit është: $T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n}$, ku r_n është rrezja e orbitës së n -të, ndërsa v_n është shpejtësia më të cilën elektroni lëviz në atë orbitë. Duke marrë parasysh shprehjet për rrezen dhe shpejtësinë, fitojmë:

$$T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n} = \frac{2\pi \frac{\epsilon_0 h^2}{e^2 m_e \pi} \cdot n^2}{\frac{e^2}{2\epsilon_0 h} \cdot \frac{1}{n}} = \frac{4\epsilon_0^2 h^3}{e^4 m_e} \cdot n^3 = t_0 \cdot n^3.$$

Për vlerën e t_0 kemi: $t_0 = \frac{4\epsilon_0^2 h^3}{e^4 m_e} = 1,52 \cdot 10^{-15} \text{ s}.$

b) Numri i rrotullimeve të plota në gjendjen e parë të ngacmuar është: $N = \frac{t}{T_n} = \frac{t}{2^3 \cdot t_0} = 9,87 \cdot 10^9.$

Energjia e elektronit në orbitat stacionare

Energjia e elektronit në modelin e Borit për atomin është e barabartë me shumën e energjisë së tij kinetike dhe potenciale në fushën elektrostатike të bërthamës. Për një elektron që lëviz në orbitën e n -të stacionare të një atomi të ngjashëm me hidrogjenin, energjia jepet me shprehjen përkatëse.

$$E_n = -\frac{Z^2}{n^2} E_0, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

ku E_0 është një konstante pozitive që varet nga konstantat themelore fizike. Vlera e saj

është $E_0 = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 13,6 \text{ eV}$. Nxjerrja e barazimit për energjinë e elektronit në orbitat e ndryshme stacionare është dhënë në shembullin e zgjidhur 4.

Kjo shprehje tregon se energjia e elektroneve në orbitat stacionare është diskrete (e kuantizuar) dhe se vlera e saj është në përpjesëtim të zhdrejtë me katrorin e numrit kryesor kuantik n . Elektroni në atomet e ngjashme me hidrogjenin nuk mund të ketë energji të çfarëdoshme në orbitat stacionare. Për energjitë e elektronit te atomet e ngjashme me hidrogjenin, në orbitat e ndryshme stacionare vlen:

$$E_1 : E_2 : E_3 : \dots : E_n = \frac{1}{1^2} : \frac{1}{2^2} : \frac{1}{3^2} : \dots : \frac{1}{n^2}.$$

Me rritjen e numrit kryesor kuantik, energjia e elektronit rritet, (bëhet më pak negative) ndërsa elektroni lidhet më dobët me bërthamën. Elektroni ka energjinë më të vogël kur lëviz në orbitën e parë stacionare ($n=1$), e cila quhet **gjendja energjetike themelore**. Të gjitha gjendjet me $n > 1$ quhen **gjendje energjetike të ngacmuara**.

Kur numri kryesor kuantik $n \rightarrow \infty$, energjia e elektronit i afrohet zeros. Kjo i përgjigjet gjendjes në të cilën elektroni është i lirë dhe nuk është i lidhur me bërthamën. Energjia që duhet të fitojë elektroni për t'u bërë elektron i lirë, përkatësisht për ta lëshuar atomin, quhet **energji e jonizimit**. Energjia e jonizimit të elektronit që ndodhet në një gjendje energjetike të çfarëdoshme mund të llogaritet me barazimin përkatës.

$$E_{\text{jon}} = E_{\infty} - E_n.$$

Energjia e jonizimit është më e madhe kur elektroni ndodhet në gjendjen energjetike themelore ($n = 1$). Nëse elektroni ndodhet në një nga gjendjet e ngacmuara, energjia e jonizimit është më e vogël se energjia e jonizimit të një elektroni që ndodhet në gjendjen energjetike themelore. Energjia e jonizimit është gjithashtu energjia që një elektron i lirë emeton në formën e një vale elektromagnetike (fotoni), kur lidhet me bërthamën e një atomi të ngjashëm me hidrogjenin. Prandaj, energjia e gjendjeve stacionare quhet edhe energjia e lidhjes së elektronit. Edhe pse modeli i Borit përbën një kthesë historike dhe e përshkruan me sukses atomin e hidrogjenit dhe atomet e tjera të ngjashme me të, ai nuk mund t'i përshkruajë me saktësi atomet me shumë elektrone dhe spektrat e tyre. Këto kufizime hapën rrugën për zhvillimin e mekanikës kuantike.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Nxirrni shprehjen për energjinë e elektronit në një gjendje stacionare të një atomi të ngjashëm me hidrogjenin dhe përcaktoni vlerën e konstantës E_0 .

Zgjidhje:

Energjia e elektronit në fushën elektrostатike të bërthamës është e barabartë me shumën e energjisë kinetike dhe të energjisë potenciale.:

$$E_n = E_{k,n} + E_{p,n} = \frac{m_e v_n^2}{2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r_n}.$$

Për një atom të ngjashëm me hidrogjenin, mund t'i zëvendësojmë shprehjet për shpejtësinë dhe për rrezen e orbitave stacionare, me ç'rast fitohet:

$$E_n = E_{k,n} + E_{p,n} = \frac{Z^2 m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} - \frac{Z^2 m_e e^4}{4\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2},$$

$$E_n = -\frac{Z^2 m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

duke e krahasuar me barazimin $E_n = -\frac{Z^2}{n^2} E_0$, për konstanten fitohet:

$$E_0 = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = 2,18 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 13,6 \text{ eV}.$$

Për atomin e hidrogjenit ($Z = 1$) fitohet:

$$E_{n,H} = -\frac{1}{n^2} E_0 = -2,18 \cdot 10^{-18} \frac{1}{n^2} \text{ J} = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{ eV}, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Për $n = 1$ fitohet energjia e elektronit në orbitën e parë stacionare të atomit të hidrogjenit:

$$E_{1,H} = -E_0 = -13,6 \text{ eV}.$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 5.

Përcaktoni energjinë e jonizimit të elektronit në atomin e hidrogjenit, nëse energjia e gjendjeve stacionare është dhënë me barazimin $E_{n,H} = -13,6 \frac{1}{n^2} \text{ eV}$. Supozojmë se elektroni ndodhet në gjendjen energjetike themelore.

Zgjidhje:

Në modelin e Borit, kur elektroni ndodhet shumë larg bërthamës, ai është praktikisht i lirë. Kjo i përgjigjet një vlere shumë të madhe të numrit kryesor kuantik n . Në këtë rast $\frac{1}{n^2}$ shumë i vogël, kështu që energjia $E_{\infty, H}$ bëhet shumë afër zeros. Prandaj, për elektronin e lirë marrim:

$$E_{\infty, H} = 0 \text{ eV}.$$

Gjendja energjetike themelore e hidrogjenit është për $n = 1$:

$$E_{1, H} = -13,6 \text{ eV}.$$

Energjia e jonizimit nga gjendja themelore është ndryshimi ndërmjet energjisë së elektronit të lirë dhe energjisë së tij në gjendjen themelore.:

$$E_{\text{jon}, H} = E_{\infty, H} - E_{1, H} = 13,6 \text{ eV}.$$

**SHEMBULL I ZGJIDHUR 6.**

Një foton me energji 2,34 eV absorbohet nga një atom hidrogjeni.

- Përcaktoni numrin kryesor kuantik më të vogël n për të cilin atomi i hidrogjenit mund të jonizohet nga ky foton.
- Përcaktoni shpejtësinë e elektronit v që çlirohet gjatë jonizimit nga gjendja e përcaktuar në pikën a).

Të dhënat:

$$E_{\gamma} = 2,34 \text{ eV}$$

Kërkohe:

$$n - ?, v - ?$$

Zgjidhje:

a) Energjia që ka elektroni në një nivel të çfarëdoshëm të atomit të hidrogjenit është:

$$E_n = -13,6 \cdot \frac{1}{n^2} \text{ eV} \quad n=1,2,3, \dots$$

Për ta jonizuar atomin, elektronit duhet t'i jepet po aq energji

$$E_n = +13,6 \cdot \frac{1}{n^2} \text{ eV} \quad n=1,2,3, \dots$$

Prandaj, për kushtin e jonizimit mund të shkruajmë:

$$E_{\gamma} \geq E_n \Rightarrow E_{\gamma} \geq +13,6 \cdot \frac{1}{n^2} \text{ eV} \Rightarrow n \geq \sqrt{\frac{13,6 \text{ eV}}{E_{\gamma}}} = 2,4.$$

Meqenëse n mund të ketë vetëm vlera të plota, rrjedh se, që fotoni të shkaktojë jonizimin, elektroni duhet të ndodhet në gjendjen e dytë të ngacmuar, përkatësisht në nivelin $n = 3$.

b) Energjia e tepërt e fotonit do të shndërrohet në energji kinetike të elektronit.:

$$E_k = E_{\gamma} - E_n \Rightarrow \frac{m_e v^2}{2} = E_{\gamma} - E_n \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2}{m} (E_{\gamma} - E_n)} = 5,4 \cdot 10^5 \text{ m/s}.$$

**PYETJE DHE DETYRA**

- Cilin problem të modelit të Raderfordit për atomin e zgjidh modeli i Borit dhe me cilat supozime themelore?
- Çfarë nënkupton termi orbitë stacionare në modelin e Borit dhe pse atomi nuk rrezaton në një gjendje të tillë?

3. Pse energjia e elektronit në një orbitë stacionare është negative? Çfarë tregon kjo fizikisht për lidhjen e elektronit me bërthamën?
4. Elektroni në orbitën e Borit kryen lëvizje rrethore me rreze r_n dhe shpejtësi v_n . a) Nxirrni shprehjen për periodën e rrotullimit të elektronit $T_n = \frac{2\pi r_n}{v_n}$ në orbitën e n -të të atomit të hidrogjenit.
- b) Nxirrni shprehjen për frekuencën rrethore të elektronit në orbitën e n -të të atomit të hidrogjenit.
- $$\omega_n = \frac{2\pi}{T_n}.$$
- c) Llogaritni periodat T_1 dhe T_3 .
- d) Llogaritni frekuencat rrethore ω_1 dhe ω_3 dhe përcaktoni raportin e tyre. ω_3 / ω_1 .
- (Zgjidhja: c) $T_1 = 1,52 \cdot 10^{-16} \text{ s}$, $T_3 = 4,10 \cdot 10^{-15} \text{ s}$ dhe d) $\omega_1 = 4,13 \cdot 10^{16} \text{ rad/s}$, $\omega_3 = 1,53 \cdot 10^{15} \text{ rad/s}$
 $\frac{\omega_3}{\omega_1} = 0,037$)
- 5 a) Llogaritë sa është $E_2 - E_1$ dhe $E_{10} - E_9$ për atomin e hidrogjenit. A mund të përfundohej nëse largësia ndërmjet niveleve energjetike rritet, zvogëlohet apo mbetet e njëjtë?
- b) Si varet ndryshimi $r_{n+1} - r_n$ nga n ? A rritet, zvogëlohet apo mbetet e njëjtë largësia radiale ndërmjet orbitave stacionare me rritjen e n ?
- (Zgjidhje: a) $E_2 - E_1 = 10,2 \text{ eV}$, b) $r_{n+1} - r_n = (2n-1)r_1$, $E_{10} - E_9 = 0,032 \text{ eV}$)



SHKENCËTAR I NJOHUR

Nils Bori (1885–1962) ishte fizikan danez, i cili luajti rol vendimtar në krijimin e mekanikës kuantike bashkëkohore dhe në kuptimin e strukturës së atomit. Ai studioi dhe punoi në Kopenhagë, ndërsa në fillim të karrierës së tij bashkëpunoi ngushtë me Ernest Raderfordin, në periudhën kur bërthama e atomit ishte një koncept i ri dhe revolucionar.

Në vitin 1913, Bori propozoi modelin e tij të atomit, në të cilin për herë të parë u paraqitën ideja e gjendjes stacionare dhe kuantizimi i disa madhësive fizike. Me këtë qasje, ai arriti të shpjegonte nivelet energjetike dhe karakteristikat themelore të spektrit të atomit të hidrogjenit. Kjo përbënte një argument të fuqishëm se fizika klasike duhej të plotësohej me parime të reja kuantike.



Bori nuk u kufizua vetëm në modelin e atomit, por më vonë dha edhe kontribute të rëndësishme konceptuale në interpretimin e mekanikës kuantike. Ai zhvilloi idenë e komplementaritetit, sipas së cilës disa veti kuantike, si karakteri grimcor dhe valor i dritës, plotësojnë njëra-tjetrën dhe nuk mund të përshkruhen njëkohësisht në mënyrë të plotë brenda një eksperimenti të vetëm. Në vitin 1922, ai mori Çmimin Nobel në Fizikë për studimet e tij mbi strukturën e atomeve dhe rrezatimin që buron prej tyre. Në Kopenhagë themeloi një shkollë të fizikës teorike dhe krijoi një mjedis shkencor që u bë qendër e fizikës kuantike gjatë gjysmës së parë të shekullit XX, duke ushtruar ndikim të madh mbi shumë breza fizikanësh.

4.4. Spektrat e emetimit dhe të absorbimit të atomeve

Në figurën 1 është paraqitur spektri i dritës së Diellit. Pjesa më e madhe e spektrit është e vazhdueshme: në të janë të pranishme të gjitha gjatësitë valore të pjesës së dukshme të spektrit. Megjithatë, në pjesë të caktuara vërehen vija të errëta, të cilat shihen më qartë në pjesën e kuqe të spektrit. Këto vija krijohen për shkak të absorbimit të dritës me gjatësi valore të përcaktuara saktësisht nga atomet në atmosferën e Diellit.

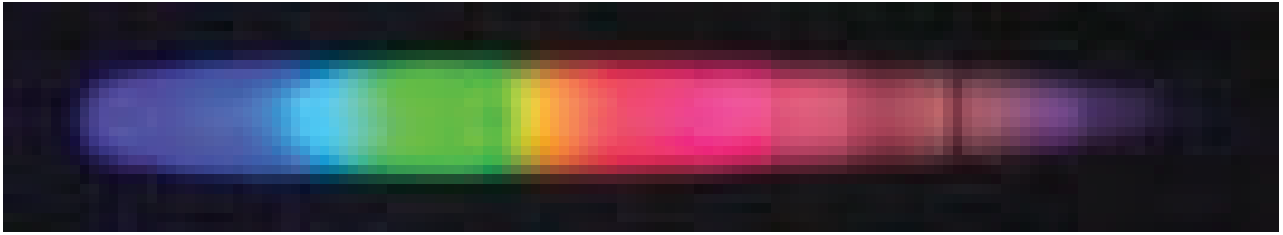


Figura 1. Spektri i dritës së Diellit

Nëse vëzhgohet drita që emeton një gaz i rralluar në një llambë gazi, fitohet një spektër krejtësisht i ndryshëm. Në vend të një spektri të vazhdueshëm, vërehen vetëm disa vija të ndritshme në sfond të errët, të vendosura në gjatësi valore të përcaktuara saktësisht. Një spektër i tillë quhet spektër vijor i emetimit (figura 2).

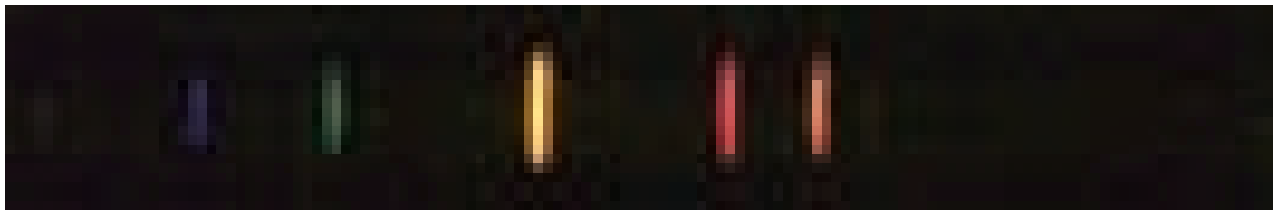


Figura 2. Spektri i emetimit të një gazi të rralluar të zhivës në një llambë gazi

Shfaqja e vijave në spektra tregon se atomet emetojnë dhe absorbojnë dritë vetëm në gjatësi valore të përcaktuara saktësisht. Kjo vërteton ekzistencën e gjendjeve energjetike diskrete në atom. Këtë dukuri e shpjegon modeli i Borit për atomin, sipas të cilit elektroni mund të ndodhet vetëm në gjendje të caktuara energjetike stacionare.

Me dy postulatet e para të Borit llogariten energjitë e gjendjeve stacionare të atomit të hidrogjenit. Por si lidhen këto gjendje me rrezatimin që emeton ose absorbon atomi? Këtë ide Nils Bori e paraqiti në postulatën e tij të tretë.

Postulati i tretë i Borit thotë: **Emetimi ose absorbimi i rrezatimit ndodh vetëm gjatë kalimit të elektronit nga një gjendje energjetike stacionare në një tjetër.** Sipas këtij postulati, elektroni nuk mund të absorbojë ose të emetojë një sasi të çfarëdoshme energjie, por mund ta bëjë këtë vetëm gjatë kalimeve kuantike, përkatësisht gjatë kalimit nga një gjendje energjetike stacionare në një tjetër. Gjendjet energjetike stacionare quhen edhe **nivele energjetike**.

Energjia e fotonit ($E = hf$) që emetohet ose absorbohet është e barabartë me ndryshimin ndërmjet energjive të dy niveleve energjetike E_n dhe E_m :

$$hf = |E_n - E_m|.$$

Kur elektroni kalon nga një nivel me energji më të madhe në një nivel me energji më të vogël, emetohet një foton. Gjatë kalimit nga një nivel me energji më të vogël në një nivel me energji më të madhe, absorbohet një foton. Frekuenca e fotonit quhet frekuenca e kalimit dhe përcaktohet vetëm nga ndryshimi ndërmjet energjive të dy niveleve energjetike stacionare.

Meqenëse nivelet energjetike të atomeve të ngjashme me hidrogjenin kanë vlera diskrete, edhe energjitë e fotoneve që emetohen ose absorbohen gjatë kalimeve kuantike janë diskrete. Prandaj, spektri i këtyre atomeve nuk është i vazhdueshëm, por përbëhet nga vija të veçanta spektrale. Gjatësia valore e fotonit që emetohet gjatë kalimit të elektronit nga niveli më i lartë energjetik n në nivelin më të ulët m , ku $n > m$,

përcaktohet sipas **formulës së Ridbergut**. $\frac{1}{\lambda_{n \rightarrow m}} = Z^2 R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$,

ku R është konstanta e Ridbergut për atomin e hidrogjenit, ndërsa Z është numri i protoneve në bërthamën e atomit të ngjashëm me hidrogjenin. Vlera e konstantës së Ridbergut për atomin e hidrogjenit $R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$ dhellogaritet nëpërmjet konstantave të tjera themelore, siç është treguar në shembullin e zgjidhur 1. Duke marrë parasysh lidhjen ndërmjet gjatësisë valore dhe frekuencës ($\lambda f = c$), për frekuencën e kuantëve të emetuara gjatë kalimit të elektronit nga një gjendje energjetike stacionare në një tjetër, kemi:

$$f_{n \rightarrow m} = Z^2 c R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Nxirrni formulën e Ridbergut për një atom të ngjashëm me hidrogjenin dhe përcaktoni vlerën e konstantës së Ridbergut.

Zgjidhje:

Energjitë e gjendjeve stacionare të një atomi të ngjashëm me hidrogjenin, sipas modelit të Borit, janë:

$$E_n = -\frac{Z^2 m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2}.$$

Nëse shqyrtojmë emetimin e një kuantit gjatë kalimit të elektronit nga një nivel më i lartë në një nivel më të ulët energjetik, për frekuencën e kalimit (frekuencën e kuantit të emetuar) fitojmë:

$$\begin{aligned} hf_{n \rightarrow m} &= E_n - E_m, \\ hf_{n \rightarrow m} &= -\frac{Z^2 m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} - \left(-\frac{Z^2 m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{m^2} \right), \\ f_{n \rightarrow m} &= \frac{Z^2 m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right). \end{aligned}$$

Duke pasur parasysh lidhjen ndërmjet frekuencës dhe gjatësisë valore ($\lambda f = c$) të kuantëve të emetuara gjatë kalimit të elektronit nga një gjendje stacionare në një tjetër, kemi

$$\frac{1}{\lambda_{n \rightarrow m}} = \frac{Z^2 m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Shprehja para kllapave përfshin disa konstanta. Vlera e saj numerike quhet konstanta e Ridbergut për atomin e hidrogjenit dhe është:

$$R = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}.$$

Në figurën 3 është dhënë paraqitja grafike e gjendjeve energjetike stacionare të atomit të hidrogjenit dhe e serive spektrale që krijohen gjatë kalimeve kuantike të elektronit nga një gjendje stacionare në një tjetër.

Nëse elektroni kalon nga cilido nivel i ngacmuar në nivelin themelor $n = 1$ fitohet seria spektrale e Lajmanit. Vijat e kësaj serie ndodhen në pjesën ultravjollcë të spektrit. Gjatë kalimeve të elektronit drejt nivelit të dytë $n = 2$ fitohet seria e Balmerit, vijat e së cilës i përkasin pjesës së dukshme të spektrit. Kalimet drejt nivelit të tretë $n = 3$ japin serinë e Pashenit, ndërsa kalimet drejt niveleve $n = 4$, dhe $n = 6$ japin përkatësisht seritë e Braketit, Pfundit dhe Hamfrit.

Këto tri seri i përkasin pjesës infra të kuqe të spektrit.

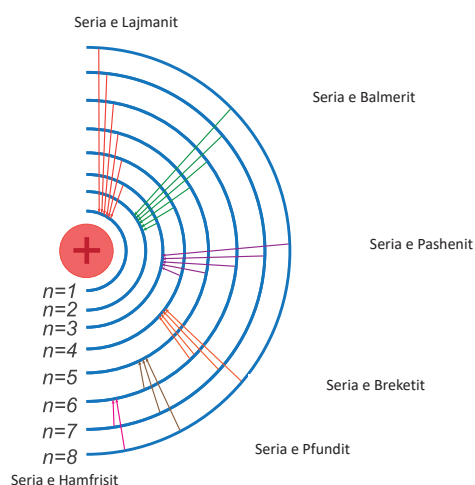


Figura 3. Orbitat stacionare dhe seritë spektrale të atomit të hidrogjenit

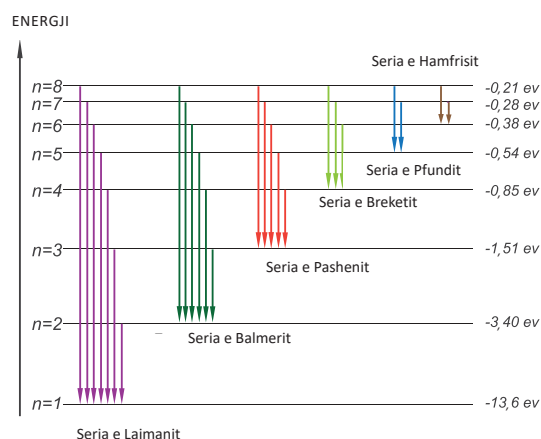


Figura 4. Nivelet energjetike të atomit të hidrogjenit dhe seritë spektrale

Duke shqyrtuar energjitë e gjendjeve stacionare dhe ndryshimet ndërmjet tyre, mund të vërehet se në çdo seri pasuese zvogëlohen ndryshimet ndërmjet energjive të vijave spektrale. Kjo ndodh për shkak të zvogëlimit të ndryshimit energjetik ndërmjet niveleve energjetike. Një rregull tjetër është se, brenda së njëjtës seri ndryshimet ndërmjet energjive të vijave spektrale bëhen gjithnjë e më të vogla, përkatësisht vijat spektrale vendosen gjithnjë e më pranë njëra-tjetrës (figura 4 dhe shembulli i zgjidhur 2).



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Pesë nivelet e para energjetike të atomit të hidrogjenit kanë energjitë e dhëna në tabelë:

Përcakto energjitë e fotoneve që emetohen gjatë kalimeve nga nivelet $m=2,3,4,5$ në nivelin themelor $n=1$ (seria e Lajmanit).

b) Krahase energjitë e fotoneve dhe komento se si ndryshojnë ato.

n	E_n (eV)
1	-13,6
2	-3,40
3	-1,51
4	-0,85
5	-0,54

Të dhënat :

$$E_n, \quad n=1,2,3,4,5$$

Kërkohet:

a) $\Delta E_{2 \rightarrow 1}$ —?, $\Delta E_{3 \rightarrow 1}$ —?,

$\Delta E_{4 \rightarrow 1}$ —?, $\Delta E_{5 \rightarrow 1}$ —?,

b) krahasimi i energjive të fotoneve të emetuara.

Zgjidhje:

Energjia e fotonit të emeluar është e barabartë me ndryshimin ndërmjet energjive të dy niveleve $\Delta E_{m \rightarrow 1} = E_m - E_1$.

kalimi $2 \rightarrow 1$: $\Delta E_{2 \rightarrow 1} = E_2 - E_1 = 10,2 \text{ eV}$.

kalimi $3 \rightarrow 1$: $\Delta E_{3 \rightarrow 1} = E_3 - E_1 = 12,09 \text{ eV}$.

kalimi $4 \rightarrow 1$: $\Delta E_{4 \rightarrow 1} = E_4 - E_1 = 12,75 \text{ eV}$.

kalimi $5 \rightarrow 1$: $\Delta E_{5 \rightarrow 1} = E_5 - E_1 = 13,06 \text{ eV}$.

Energjia e fotoneve është më e madhe kur kalimi bëhet

nga një nivel energjetik më i lartë (më i madh m) drejt $n = 1$. Por, mund të vërehet se zvogëlohet ndryshimi ndërmjet energjive të fotoneve të emetuara::

$$\Delta E_{3 \rightarrow 1} - \Delta E_{2 \rightarrow 1} = 12,09 - 10,2 = 1,89 \text{ eV},$$

$$\Delta E_{4 \rightarrow 1} - \Delta E_{3 \rightarrow 1} = 12,75 - 12,09 = 0,66 \text{ eV},$$

$$\Delta E_{5 \rightarrow 1} - \Delta E_{4 \rightarrow 1} = 13,06 - 12,75 = 0,31 \text{ eV}.$$

Pra, vijat spektrale të serisë vendosen gjithnjë e më pranë njëra-tjetrës, ndërsa ndryshimi ndërmjet energjive të fotoneve zvogëlohet me rritjen e m . Gjithashtu, mund të vërehet se vlerat e $\Delta E_{m \rightarrow 1}$ afrohen $13,6 \text{ eV}$, me rritjen e m , që është energjia maksimale e fotonit të emetuar gjatë kalimit të elektronit drejt nivelit themelor $n = 1$, përkatësisht energjia që rrezaton elektroni i lirë kur lidhet me atomin e hidrogjenit në gjendjen energjetike themelore



SHEMBULL I ZGJIDHUR 3.

Një elektron në atomin e një elementi emeton një foton me gjatësi valore 530 nm , gjatë kalimit nga niveli i pestë në nivelin e dytë energjetik, dhe një foton me gjatësi valore 420 nm , gjatë kalimit nga niveli i gjashtë në nivelin e dytë. Përcaktoni gjatësinë valore të fotonit që emetohet gjatë kalimit të elektronit nga niveli i gjashtë në nivelin e pestë.

Të dhënat:

$$\lambda_{5 \rightarrow 2} = 530 \text{ nm},$$

$$\lambda_{6 \rightarrow 2} = 420 \text{ nm}$$

Kërkohet:

$$\lambda_{6 \rightarrow 5} - ?$$

Zgjidhje:

Gjatë kalimit të elektronit nga një nivel energjetik më i lartë në një nivel më të ulët, emetohet një foton me energjinë $E = \frac{hc}{\lambda}$. Prandaj, për kalimet e dhëna mund të shkruajmë: $\frac{hc}{\lambda_{5 \rightarrow 2}} = E_5 - E_2$, $\frac{hc}{\lambda_{6 \rightarrow 2}} = E_6 - E_2$.

Nëse barazimin e parë e zbresim nga i dyti, eliminojmë nivelin e përbashkët

$$E_2 : \frac{hc}{\lambda_{6 \rightarrow 2}} - \frac{hc}{\lambda_{5 \rightarrow 2}} = (E_6 - E_2) - (E_5 - E_2) \Rightarrow \frac{hc}{\lambda_{6 \rightarrow 2}} - \frac{hc}{\lambda_{5 \rightarrow 2}} = E_6 - E_5.$$

por, $E_6 - E_5$ është pikërisht energjia e fotonit që emetohet gjatë këtij kalimi

$$6 \rightarrow 5 : \frac{hc}{\lambda_{6 \rightarrow 5}} = E_6 - E_5. \text{ prandaj: } \frac{hc}{\lambda_{6 \rightarrow 5}} = \frac{hc}{\lambda_{6 \rightarrow 2}} - \frac{hc}{\lambda_{5 \rightarrow 2}}.$$

Pas thjeshtimit të hc , fitojmë:

$$\frac{1}{\lambda_{6 \rightarrow 5}} = \frac{1}{\lambda_{6 \rightarrow 2}} - \frac{1}{\lambda_{5 \rightarrow 2}} \Rightarrow \lambda_{6 \rightarrow 5} = \frac{\lambda_{6 \rightarrow 2} \cdot \lambda_{5 \rightarrow 2}}{\lambda_{5 \rightarrow 2} - \lambda_{6 \rightarrow 2}} = 2024 \text{ nm}.$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 4.

Në spektrin e një ylli janë vërejtur vija spektrale, gjatësia valore e të cilave është katër herë më e vogël se ajo e vijave përkatëse në spektrin e hidrogjenit. Përcaktoni se cilit element, përkatësisht cilit atom të ngjashëm me hidrogjenin, i përkasin këto vija.

Kërkohet: $Z_x - ?$ **Zgjidhje:**

Për hidrogjenin ($Z = 1$) vlen formula e Ridbergut:

$$\frac{1}{\lambda_{H,n \rightarrow m}} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Për atomet e ngjashme me hidrogjenin, formula e Ridbergut ka formën përkatëse:

$$\frac{1}{\lambda_{X,n \rightarrow m}} = Z_x^2 R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Kur pjesëtojmë barazimet, faktori i përbashkët brenda kllapave thjeshtohet:

$$\frac{1/\lambda_x}{1/\lambda_H} = Z_x^2 \Rightarrow \frac{\lambda_H}{\lambda_x} = Z_x^2.$$

megjenëse $\lambda_x = \lambda_H / 4$, fitojmë:

$$\frac{\lambda_H}{\lambda_H / 4} = 4 = Z_x^2 \Rightarrow Z_x = 2.$$

sipas kësaj vijat spektrale burojnë nga një atom heliumi i jonizuar një herë (He^+).

Spektrat e emetimit dhe të absorbimit të atomeve

Pasi kuptohet se vijat në spektrat jotëvazhdueshëm të atomeve krijohen nga kalimet kuantike të elektroneve ndërmjet niveleve energjetike, mund të përkufizohen lehtë dy llojet themelore të spektrave atomikë: spektri i emetimit dhe spektri i absorbimit.

Spektri i emetimit fitohet kur atomet e ngacmuara emetojnë dritë gjatë kalimit të elektroneve nga gjendje energjetike më të larta në gjendje më të ulëta. Nëse një gaz i rralluar hidrogjeni ngacmohet, për shembull me shkarkim elektrik, atomet marrin energji dhe elektronet kalojnë në nivele më të larta energjetike. Kur elektronet kthehen në nivele më të ulëta energjetike, emetohen fotone me frekuenca të përcaktuara saktësisht. Prandaj, në spektër vërehen vija të ndritshme në sfond të errët, ku çdo vijë i përgjigjet kalimit të elektronit ndërmjet dy niveleve energjetike (figura 2). Tek atomi i hidrogjenit, në pjesën e dukshme të spektrit, me spektroskop mund të vëzhgohen vetëm kalimet e serisë spektrale të Balmerit, sepse fotonet e serive të tjera i përkasin pjesës ultravjollcë ose infra të kuqe të spektrit. Spektri i emetimit të hidrogjenit në zonën e dukshme është paraqitur në pjesën e sipërme të figurës 5.

Spektri i absorbimit fitohet në situatën e kundërt, kur drita me spektër të vazhdueshëm kalon nëpër një gaz të rralluar. Në këtë rast, atomet mund të absorbojnë vetëm fotone, energjia e të cilave i përgjigjet saktësisht një kalimi kuantik të lejuar nga një nivel më i ulët në një nivel më të lartë energjetik. Këto fotone të absorbuara mungojnë në dritën që del nga gazi, prandaj në spektër shfaqen vija të errëta në një sfond të ndritshëm dhe të vazhdueshëm (figura 1).

ATOMI I HIDROGENIT

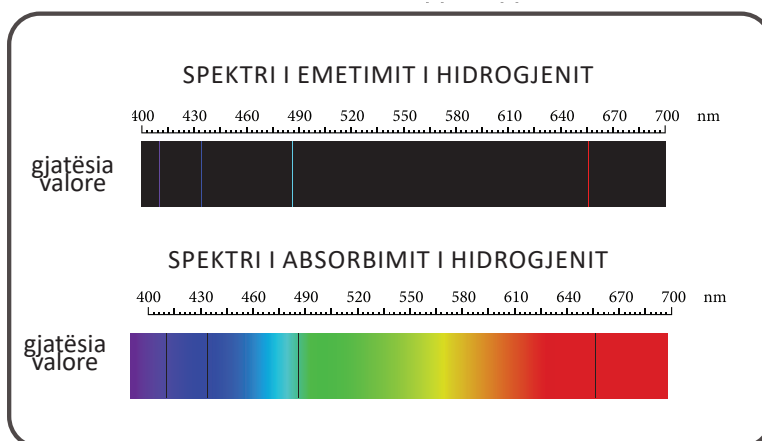


Figura 5. Spektri i emetimit të hidrogjenit (lart) dhe spektri i absorbimit të hidrogjenit (poshtë)

Pozitat e vijave të errëta në spektrin e absorbimit përputhen saktësisht me pozitat e vijave të ndritshme në spektrin e emetimit të të njëjtit element. Arsyeja është se, në të dyja rastet, bëhet fjalë për të njëjtat ndryshime energjetike ndërmjet niveleve energjetike. Spektri i absorbimit të hidrogjenit në zonën e dukshme është paraqitur në pjesën e poshtme të figurës 5.

Analiza e spektrave të emetimit dhe të absorbimit paraqet dëshmi të drejtpërdrejtë eksperimentale për ekzistencën e gjendjeve energjetike diskrete në atom dhe për karakterin kuantik të emetimit dhe të absorbimit të energjisë. Spektri i hidrogjenit ka rëndësi të veçantë, sepse është spektri i atomit më të thjeshtë. Në këtë rast ekziston një lidhje e qartë ndërmjet modelit teorik dhe rezultateve eksperimentale: nivelet energjetike diskrete të elektronit çojnë në kalime kuantike diskrete, të cilat përcaktojnë frekuenca dhe gjatësi valore të caktuara saktësisht të fotoneve.

Në figurën 6 janë paraqitur spektrat e emetimit dhe të absorbimit të atomit të heliumit. Ndryshe nga hidrogjeni, atomi i heliumit ka dy elektrone në mbështjellësin elektronik. Përveçse bashkëveprojnë me bërthamën, këto elektrone bashkëveprojnë edhe me njëri-tjetrin. Për këtë arsye, modeli i Borit nuk mund ta shpjegojë plotësisht numrin më të madh të vijave spektrale të vërejtura te heliumi. Kjo tregon kufizimet e këtij modeli dhe nevojën për teori më bashkëkohore të atomit.

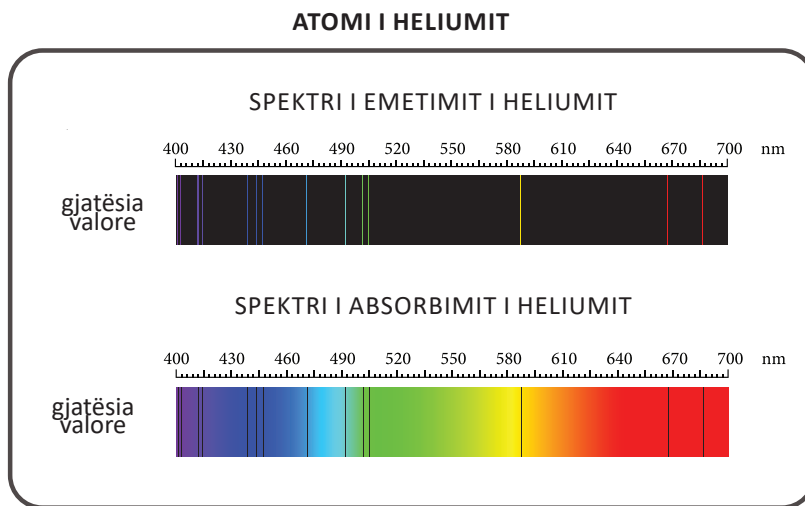


Figura 6. Spektri i emetimit të heliumit (lart) dhe spektri i absorbimit të heliumit (poshtë)



MËSO MË SHUMË

Analiza spektrale e dritës së yjeve

Analiza spektrale e rrezatimit të yjeve bëhet duke e kaluar dritën e yllit nëpër një prizëm, me ç'rast fitohet spektri i dritës së tij. Në spektrin e fituar zakonisht vërehen një pjesë e vazhdueshme, e ngjashme me rrezatimin e trupit absolutisht të zi, dhe vija absorbimi – vija të errëta që krijohen kur atomet dhe jonet në shtresat e jashtme të yllit absorbojnë dritë me gjatësi valore të përcaktuara saktësisht, ngjashëm me spektrin e paraqitur në figurën 1.

Duke krahasuar pozitën dhe formën e këtyre vijave me spektrat e fituar në kushte laboratorike, mund të përcaktohet se cilat elemente kimike janë të pranishme në yll, si dhe gjendja e tyre e jonizimit.

Nga analiza spektrale mund të merren edhe informacione të tjera të rëndësishme. Nga forma e spektrit të vazhdueshëm dhe pozita e maksimumit të tij përcaktohet temperatura e sipërfaqes së yllit, nëpërmjet Ligjit të Vinit. Nga intensiteti dhe gjerësia e vijave spektrale mund të vlerësohen dendësia dhe shtypja në atmosferën e yllit. Nëse vijat spektrale janë zhvendosur drejt pjesës së kuqe ose të kaltër të spektrit për shkak të efektit të Doplerit, mund të përcaktohet shpejtësia me të cilën ylli largohet nga Toka ose i afrohet asaj. Përveç kësaj, nga ndarja e disa vijave spektrale mund të merren informacione edhe për fushën magnetike të yllit.



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse me modelin e Borit mund të shpjegohen spektrat e atomit të heliumit të jonizuar një herë, por nuk mund të shpjegohet spektri i atomit neutral të heliumit?
2. Duke përdorur figurën 4, përcaktoni gjatësitë valore të fotoneve që emetohen gjatë kalimit të elektronit në nivelin e dytë energjetik, përkatësisht gjatësitë valore të vijave spektrale të serisë së Balmerit. A janë vlerat e fituara të barabarta me gjatësitë valore të vijave në spektrin e emetimit të hidrogjenit në figurën 5? Nëse ka dallime, shpjegoni pse shfaqen ato.
Llogaritni rrezet e orbitës së m -të, nga e cila elektroni kalon në orbitën $n = 2$, duke emetuar një foton me gjatësi valore 487 nm. (Zgjidhja: 0,847 nm).
3. Ndryshimi ndërmjet gjatësive valore të dy vijave të para të serisë së Balmerit në atomin e hidrogjenit është 170nm. Llogaritni konstantën e Ridbergut. (Zgjidhja: $1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$)
5. Llogaritni energjinë e lidhjes së elektronit në gjendjen energjetike themelore të një atomi të ngjashëm me hidrogjenin, spektri i të cilit përmban një vijë me gjatësi valore 108,5nm, për të cilën dihet se është vija e tretë e serisë së Balmerit. Për cilin element bëhet fjalë? (Zgjidhja: 54, 4 eV)

4.5. Rrezet rentgen dhe zbatimi i tyre

Nga fundi i shekullit XIX, gjatë studimeve të shkarkimeve elektrike në gazet e rralluara dhe të dukurive në tubat e vakumit, Vilhelm Konrad Rentgeni zbuloi në vitin 1895 një lloj të ri rrezatimi, i cili nuk u përkiste rrezatimeve të njohura deri atëherë: ultravjollcë, të dukshme dhe infra të kuqe. Ai vërejti se pranë një diode vakumi shfaqej një ndriçim në një ekran të veshur me një lëndë të përshtatshme. Në këtë tub, elektronet e emetuara nga katoda përshpejtoheshin drejt anodës nën veprimin e një difference të madhe potenciali.

Kjo dukuri shkaktohet nga lumineshenca, e cila paraqet emetimin e dritës pa e nxehur materialin në temperaturë të lartë. Drita krijohet si rezultat i ngacmimit të elektroneve me dritë ultravjollcë, rrymë elektrike, reaksion kimik, fërkim e të tjera. Lumineshenca që vëzhgoi Rentgeni ishte fluoreshencë, gjatë së cilës materiali emeton dritë vetëm për sa kohë është i ekspozuar ndaj rrezatimit dhe ndalon menjëherë pas ndërprerjes së tij. Veçanërisht domethënës ishte fakti se fluoreshenca shfaqej edhe kur tubi i vakumit mbulohej me një material të patejdukshëm. Kjo tregonte ekzistencën e një rrezatimi të panjohur deri atëherë. Për këtë arsye, Rentgeni i shënoi këto rreze me shkronjën X, që nënkuptonte „të panjohura“. Më vonë ato u quajtën rreze X, ndërsa sot njihen edhe si rreze rentgen.

Eksperimentet e para treguan se rrezet e rentgenit kanë fuqi të madhe depërtuese: ato kalojnë nëpër letër, dru dhe inde të buta, ndërsa intensiteti i tyre zvogëlohet më shumë gjatë kalimit nëpër lëndë më të dendura. Ato shkaktjnë fluoreshencë, nxijnë pllakën fotografike dhe jonizojnë gazet, gjë që mundëson zbulimin dhe matjen e tyre. Studimet e mëvonshme vërtetuan se rrezet e rentgenit janë rrezatim elektromagnetik me gjatësi valore shumë të vogël, nga 0,01nm deri në 10nm, dhe me energji të madhe të fotoneve. Rrezet e rentgenit nuk devijojnë nga drejtimi fillestar i përhapjes së tyre në fushë elektrike dhe magnetike.

Bashkëveprimi i tyre me materien është më i theksuar se ai i dritës së dukshme, sepse energjia e fotoneve të rentgenit është e mjaftueshme për jonizimin e atomeve në material. Prandaj, rrezet e rentgenit bëjnë pjesë

në grupin e rrezatimeve jonizuese. Vetia praktike më e rëndësishme e tyre është fuqia depërtuese, e cila varet nga energjia e rrezeve dhe nga vetitë e materialit.

Materialet me dendësi dhe numër atomik më të madh i absorbojnë më fuqishëm rrezet rentgen. Prandaj, këto rreze depërtojnë më lehtë nëpër indet e buta, ndërsa absorbohen nga kockat dhe metalet. Ky ndryshim në absorbim përbën bazën e imazhit rentgen, në të cilin kockat duken më të çelëta se indet e buta (figura 1).

Kur rrezet rentgen kalojnë nëpër një material, intensiteti i tyre zvogëlohet për shkak të bashkëveprimit me grimcat përbërëse të materialit. Gjatë këtij bashkëveprimi mund të ndodhin dy procese: absorbimi dhe shpërndarja. Absorbimi paraqet transferimin e energjisë së rrezeve rentgen te grimcat e materialit, me ç'rast një pjesë e fotoneve rentgen zhduken plotësisht nga tufa. Gjatë shpërndarjes, fotonet rentgen nuk absorbohen, por ndryshojnë drejtimin e përhapjes dhe energjia e tyre zvogëlohet. Të dyja proceset shkaktojnë zvogëlimin e intensitetit të tufës së rrezeve rentgen që, pas kalimit nëpër material, vazhdon të përhapet në të njëjtin drejtim me tufën rënëse. Prandaj, kur flasim për dobësimin e intensitetit pas absorbuesit, nënkuptojmë zvogëlimin e numrit të fotoneve që vazhdojnë të lëvizin në drejtimin e tufës rënëse.

Në mënyrë eksperimentale është vërtetuar se, për një material homogjen dhe për rreze monoenergjetike (rreze rentgen me të njëjtën energji ose me të njëjtën gjatësi valore), dobësimi i intensitetit përshkruhet me një ligj eksponencial. Nëse I_0 është intensiteti i rrezatimit para hyrjes në material, ndërsa I është intensiteti pas kalimit nëpër një shtresë me trashësi x , atëherë vlen:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

ku μ është koeficienti i absorbimit, i cili shprehet me njësinë m^{-1} .

Ky koeficient varet nga materiali nëpër të cilin kalon rrezatimi rentgen, përkatësisht nga dendësia dhe përbërja e tij, si dhe nga energjia e rrezeve rentgen. Varësia eksponenciale nënkupton se, me çdo rritje të njëjtë të trashësisë, humbet e njëjta pjesë e intensitetit të mbetur dhe jo e njëjta vlerë e intensitetit. Prandaj, nuk ekziston një trashësi e materialit për të cilën mund të thuhet se e ndalon plotësisht tufën e rrezeve rentgen.

Si masë praktike për dobësimin e tufës, zakonisht përdoret madhësia e quajtur **trashësia e gjysmëabsorbimit** $x_{1/2}$. Ajo përkufizohet si trashësia e materialit që e zvogëlon intensitetin e tufës në gjysmën e vlerës fillestare:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{2}.$$

Nëse barazimi i fundit zëvendësohet në formulën e parë për trashësinë e gjysmëabsorbimit, fitojmë:

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu x_{1/2}}, \quad x_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,693}{\mu}.$$

Njohja e trashësisë së gjysmëabsorbimit është e dobishme sepse mundëson krahasimin e shpejtë të materialeve. Materiali me koeficient të madh absorbimi ka trashësi të vogël të gjysmëabsorbimit, që do të thotë se e absorbon fuqishëm rrezatimin rentgen. Ndërsa materiali me koeficient të vogël absorbimi ka trashësi të madhe të gjysmëabsorbimit dhe është relativisht „i tejdukshëm“ ndaj rrezeve rentgen.

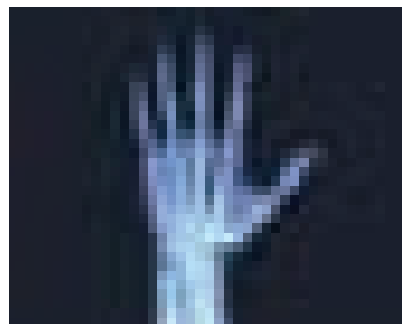


Figura 1. Imazh rentgen i pëllëmbës së dorës, në të cilin dallohen qartë kockat që e absorbojnë më shumë rrezatimin rentgen

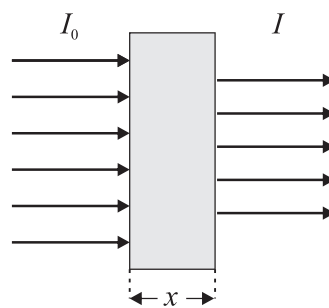


Figura 2. Kalimi i një tufe rrezesh rentgen nëpër një material me trashësi x

Ndryshimet në absorbimin e materialeve të ndryshme, të përshkruara nëpërmjet koeficientit të absorbimit, përbëjnë bazën si për zbatimin, ashtu edhe për mbrojtjen nga rrezet rentgen. Në diagnostikimin mjekësor, kontrasti ndërmjet kockave dhe indeve të buta krijohet nga aftësia e tyre e ndryshme për ta dobësuar rrezatimin. Në industri, e njëjta veti përdoret për zbulimin e defekteve në metale ose për kontrollimin e cilësisë. Njëkohësisht, për shkak të veprimit jonizues të rrezeve rentgen, janë të domosdoshme masa mbrojtëse. Për këtë qëllim, materialet me numër të madh atomik, si plumbi, përdoren si absorbues efikasë.

Në pjesën vijuese do të shqyrtojmë se si përftohen rrezet rentgen në një tub rentgeni dhe se si spektri i tyre përbëhet nga një pjesë e vazhdueshme dhe një pjesë karakteristike. Kjo do të na japë informacione shtesë për strukturën e brendshme të atomit.

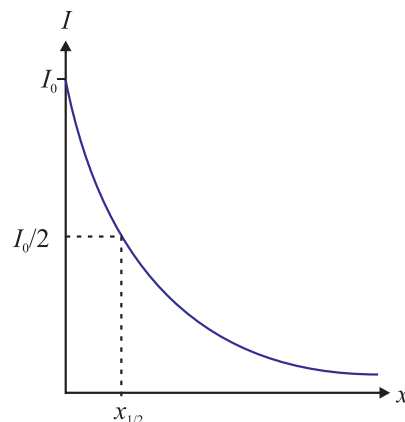


Figura 3. Zvogëlimi eksponencial i intensitetit të rrezatimit rentgen gjatë kalimit nëpër një mjedis material, me trashësinë e gjysmëabsorbimit të shënuar.

Përfitimi i rrezeve rentgen

Rrezet rentgen fitohen në një pajisje të quajtur tub rentgeni (figura 4). Ky është një tub vakumi, brenda të cilit ndodhen dy elektroda: katoda dhe anoda. Katoda është një pllakë metalike që gjatë nxehjes, emeton elektrone. Kjo dukuri quhet emetim termoelektronik. Anoda përmban një shënjestër të përbërë nga një material me numër të madh atomik dhe temperaturë të lartë shkrirjeje, zakonisht volfram. Ndërmjet katodës dhe anodës zbatohet një diferencë e madhe potenciali, përkatësisht tension U prandaj elektronet përshpejtohen drejt anodës. Meqenëse elektroni ka ngarkesë elektrike e gjatë lëvizjes në këtë diferencë potenciali U ai fiton energji kinetike:

$$E_k = eU.$$

Për shkak të vakumit, elektronet arrijnë në anodë pa u përplasur me grimcat ndërmjet anodës dhe katodës. Gjatë goditjes së shënjestrës ndodhin dy procese:

- pjesa më e madhe e energjisë së tyre kinetike shndërrohet në nxehtësi;
- një pjesë e vogël e energjisë kinetike shndërrohet në rrezatim rentgen.

Për shkak të nxehjes së madhe, anoda duhet të ketë një sistem efikas ftohjeje.

Rrezatimi frenues rentgen (spektër i vazhdueshëm)

Nga fizika klasike dihet se një gri e ngarkuar elektrikisht, e cila lëviz me shpejtësi të ndryshueshme, emeton rrezatim elektromagnetik. Ky parim i përgjithshëm vlen edhe në tubin rentgen.

Kur elektronet me energji të madhe kinetike godasin shënjestrën metalike të anodës, ato e ndryshojnë menjëherë shpejtësinë dhe drejtimin e lëvizjes nën veprimin e fushës elektrike të krijuar nga bërthamat atomike të shënjestrës.

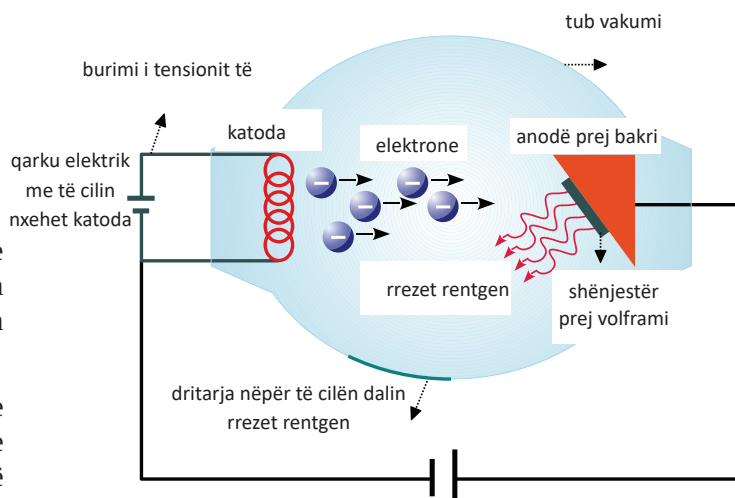


Figura 4. Paraqitje skematike e tubit rentgen dhe e përfitimit të rrezeve

Kur një elektron kalon pranë një bërthame atomike të ngarkuar pozitivisht, ai devijon nga drejtimi fillestar dhe shpejtësia e tij zvogëlohet. Gjatë këtij procesi, një pjesë e energjisë së tij kinetike shndërrohet në energji të një fotoni rentgen. Ky proces i emetimit të rrezatimit rentgen gjatë frenimit të menjëhershëm të elektroneve quhet rrezatim frenues (figura 5).

Meqenëse elektronet kalojnë në largësi të ndryshme nga bërthamat, ato humbasin sasi të ndryshme të energjisë së tyre kinetike. Prandaj, energjitë e fotoneve të emetuara janë të ndryshme dhe rrezatimi frenues rentgen ka spektër të vazhdueshëm. Fotonet me energjinë më të madhe përfitohen në rastin kufitar, kur elektroni, gjatë goditjes së shënjestrës, e transferon të gjithë energjinë e tij kinetike në një proces të vetëm. Në këtë rast, e gjithë energjia e elektronit shndërrohet në energjinë e një fotoni.

Meqenëse energjia e elektronit buron nga lëvizja e tij në diferencën e potencialit U , ajo është eU . Në këtë rast kufitar vlen:

$$\frac{hc}{\lambda_{\min}} = eU,$$

Nga ku rrjedh se:

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU}.$$

Ky relacion tregon se gjatësia valore më e vogël e mundshme, përkatësisht energjia më e madhe e mundshme e fotoneve rentgen në spektrin e vazhdueshëm, përcaktohet vetëm nga tensioni i tubit rentgen. Me rritjen e tensionit fitohen fotone me energji më të madhe dhe me fuqi më të madhe depërtuese.

Është e rëndësishme të theksohet se $\lambda_{\min}$ (gjatësia valore minimale) paraqet një kufi të prerë të spektrit: për gjatësi valore më të vogla se kjo vlerë nuk mund të ekzistojë rrezatim rentgen i përfutur në këtë mënyrë. Në një tub real rentgen, shumica e elektroneve e humbin energjinë gradualisht gjatë bashkëveprimeve me disa bërthama. Prandaj, pjesa me intensitetin më të madh e spektrit të vazhdueshëm ndodhet në zonën e gjatësive valore më të mëdha (figura 6).

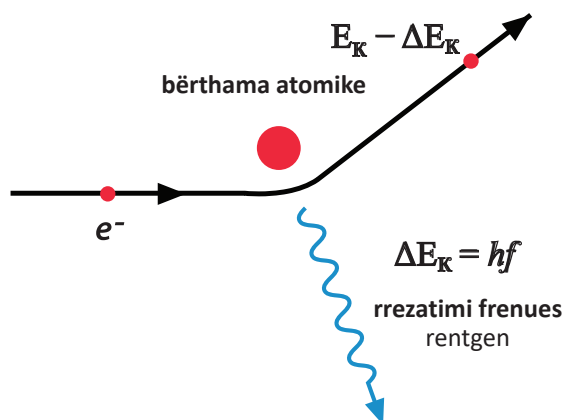


Figura 5. Emetimi i një fotoni rentgen gjatë kalimit të elektronit pranë një bërthame atomike.

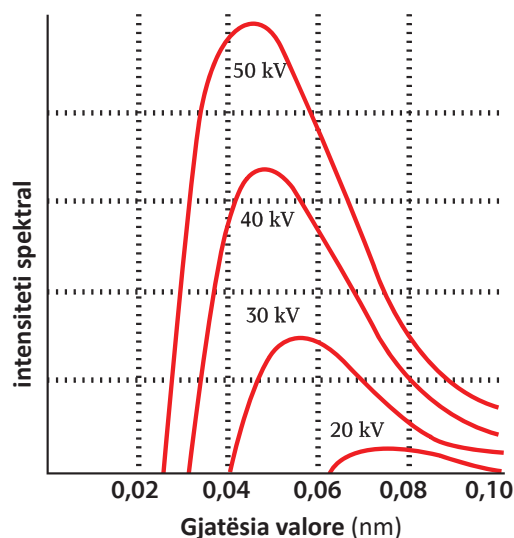


Figura 6. Spektri i vazhdueshëm rentgen i fituar për tensione të ndryshme ndërmjet katodës dhe anodës



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Sa tension minimal përshpejtues duhet të zbatohet ndërmjet anodës dhe katodës në një tub rentgen, për të fituar rrezatim rentgen me gjatësi valore minimale 72,0 pm?

Të dhënat:

$$\lambda_{\min} = 72 \cdot 10^{-12} \text{ m}, e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C},$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Kërkohet:

$$U - ?$$

Zgjidhje:

Gjatësia valore minimale i përgjigjet rastit kufitar, kur e gjithë energjia kinetike e elektronit shndërrohet në energjinë e një fotoni rentgen. Në këtë rast kemi:

$$\frac{hc}{\lambda_{\min}} = eU \Rightarrow U = \frac{hc}{e\lambda_{\min}} = 1,72 \cdot 10^4 \text{ V} = 17,2 \text{ kV}.$$

Rrezatimi karakteristik rentgen (spektri vijor)

Kur elektronet e përshpejtuara në tubin rentgen godasin anodën, përveç rrezatimit frenues, shfaqet edhe rrezatimi karakteristik rentgen. Ndryshe nga rrezatimi frenues, i cili ka spektër të vazhdueshëm, rrezatimi karakteristik rentgen shfaqet në formën e vijave të mprehta spektrale me gjatësi valore të përcaktuara saktësisht (figura 7).

Këto vija janë karakteristike për elementin nga i cili është përbërë anoda dhe janë pasojë e strukturës së tij të brendshme atomike. Prandaj, ky rrezatim paraqet një lloj „gjurme dalluese“ të elementit kimik.

Shkaku i shfaqjes së rrezatimit karakteristik rentgen është jonizimi i atomeve të shënjestrës së vendosur në anodë. Elektronet e shpejta mund të shpëputin një elektron nga njëra prej shtresave të brendshme elektronike të atomit, duke lënë një vend të zbrazët. Kjo është një gjendje e ngacmuar e atomit, prandaj një elektron nga një shtresë më e lartë elektronike kalon në shtresën më të ulët..

Në mësimet e mëparshme, nivelet energjetike të elektronit i shënonim me numrin kryesor kuantik, $n = 1, 2, 3, \dots$, si tek atomi i hidrogjenit. Tek atomet me shumë elektrone, për të njëjtin numër kryesor kuantik ekzistojnë disa nivele energjetike të afërta, të cilat i quajmë shtresa energjetike. Në fizikë, këto shtresa shënohen me shkronja. Shtresa K i përgjigjet nivelit më të ulët energjetik, përkatësisht numrit kryesor kuantik $n = 1$, shtresa L paraqet një grup nivelesh të afërta energjetike me numër kryesor kuantike $n = 2$ ndërsa shtresa M përbëhet nga disa nivele të afërta energjetike me numër kryesor kuantik $n = 3$ e kështu me radhë.

Pasi krijohet një vend i zbrazët në shtresën K, një elektron nga një shtresë më e lartë elektronike, për shembull nga shtresa L ose M, kalon në shtresën K. Gjatë këtij kalimi çlirohet energji e barabartë me ndryshimin ndërmjet energjive të dy shtresave, e cila emetohet në formën e një fotoni rentgen. Për shembull, gjatë kalimit nga shtresa L në shtresën K, energjia e fotonit të emetuar është e barabartë me ndryshimin ndërmjet energjive të këtyre dy shtresave.

$$\frac{hc}{\lambda_{L \rightarrow K}} = E_L - E_K.$$

Meqenëse ndryshimet energjetike ndërmjet shtresave të brendshme elektronike janë të mëdha, gjatësitë valore të fotoneve të emetuara janë të vogla, prandaj ato i përkasin rrezatimit rentgen. Ky është një dallim thelbësor në krahasim me spektrat optikë, të cilët krijohen gjatë kalimeve të elektroneve në shtresat e jashtme

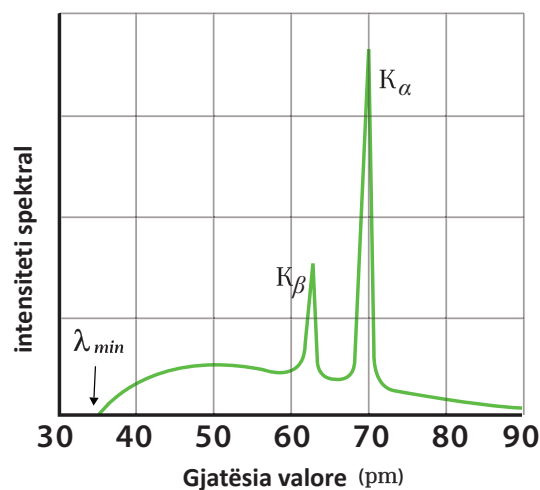


Figura 7. Rrezatimi i vazhdueshëm dhe karakteristik rentgen, i fituar në një shënjestër prej molibdeni, me tension 35kV ndërmjet anodës dhe katodës

elektronike të atomit.

Vijat karakteristike rentgen grupohen në seri sipas shtresës në të cilën përfundon kalimi i elektronit, ngjashëm me seritë e hidrogjenit në modelin e Borit për atomin. Kështu, kalimet drejt shtresës K formojnë serinë K, ndërsa kalimet drejt **shtresës L** formojnë **serinë L**. Brenda një serie, vijat shënohen me indeks sipas shtresës nga e cila vjen elektroni. Indeksi α – tregon kalimin e parë të mundshëm drejt shtresës përkatëse, si kalimi (nga L në K ose nga M në L). Indeksi β – tregon kalimin e dytë, si kalimi (nga M në K ose nga N në L). Në këtë mënyrë fitohen shënimet K_α , K_β , L_α , L_β e kështu me radhë.

Paraqitja skematike e kalimeve elektronike që shkaktajnë rrezatim karakteristik rentgen është dhënë në figurën 8.

Që të shfaqet një seri e caktuar, për shembull seria K, elektronet e përsheptuara duhet të kenë energji kinetike të mjaftueshme për të shpëputur një elektron nga shtresa e brendshme përkatëse, në këtë rast nga shtresa K. Nëse tensioni në tubin rentgen është shumë i vogël, disa vija karakteristike nuk do të shfaqen. Gjatësitë valore të vijave karakteristike, përkatësisht të rrezeve karakteristike rentgen, varen vetëm nga elementi i shënjestrës së anodës dhe jo nga tensioni i tubit rentgen.

Gjatësitë valore të rrezeve karakteristike rentgen mund të llogariten sipas ligjit të Mozlit. Duke pasur parasysh se për shtresën K numri kryesor kuantik është $n=1$, për shtresën $n=2$, gjatësia valore e vijës K_α mund të llogaritet:

$$\frac{1}{\lambda_{K\alpha}} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right),$$

ku R është konstantja e Ridbergut. Për vijën K_β kemi:

$$\frac{1}{\lambda_{K\beta}} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2} \right).$$

Vend qendror në këtë ligj zë **konstanta e ekranimit** σ . Kuptimi i saj fizik është si vijon: elektroni që merr pjesë në kalim nuk e „ndien“ ngarkesën e plotë të bërthamës $+Ze$, sepse një pjesë e saj ekranohet nga elektronet e tjera. Ekranimi varet nga seria që shqyrtohet. Në serinë K, ai është relativisht i vogël ($\sigma \approx 1$), sepse bëhet fjalë për shtresën e parë elektronike, e cila ndodhet më pranë bërthamës. Në serinë L, ekranimi është më i madh ($\sigma \approx 7,5$) për shkak të pranisë së elektroneve të shtresës K, të cilat e ekranojnë pjesërisht ngarkesën e bërthamës.

Prandaj, rrezatimi karakteristik rentgen është pasojë e drejtpërdrejtë e strukturës kuantike të atomit dhe e ekzistencës së niveleve diskrete energjetike në shtresat e brendshme elektronike. Për këtë arsye, vijat karakteristike rentgen përdoren si metodë e fuqishme për identifikimin e elementeve dhe analizimin e përbërjes së materialeve. Njëkohësisht, ato përbëjnë një argument të fuqishëm se struktura atomike është kuantike dhe diskrete

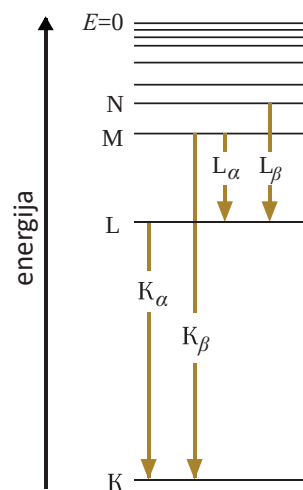


Figura 8. Paraqitje skematike e kalimeve të elektronit nga shtresat më të larta energjetike në shtresa më të ulëta, gjatë të cilave krijohet rrezatim karakteristik rentgen



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Janë dhënë gjatësitë valore të vijave K_α -të argjendit ($Z_{Ag} = 47$) dhe të molibdenit ($Z_{Mo} = 42$) : $\lambda_{Ag} = 5,6348 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ dhe $\lambda_{Mo} = 7,0939 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. Përcaktoni konstantën e Ridbergut dhe konstantën e ekranimit.

Të dhënat: $Z_{\text{Ag}} = 47, Z_{\text{Mo}} = 42$ $\lambda_{\text{Ag}} = 7,0939 \cdot 10^{-11} \text{ m}$ $\lambda_{\text{Mo}} = 5,6348 \cdot 10^{-11} \text{ m}$	Zgjidhje: Kalimi që krijon rrezatimin karakteristik K_{α} tek të dyja metalet kryhet nga shtresa L në shtresën K, përkatësisht nga $n = 2$ në $m = 1$. Prandaj, mund të shkruajmë: $\frac{1}{\lambda_{\text{Ag}}} = R(Z_{\text{Ag}} - \sigma)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} R(Z_{\text{Ag}} - \sigma)^2,$ $\frac{1}{\lambda_{\text{Mo}}} = R(Z_{\text{Mo}} - \sigma)^2 \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right) = \frac{3}{4} R(Z_{\text{Mo}} - \sigma)^2.$ Duke pjesëtuar të dy barazimet, konstanta e Ridbergut thjeshtohet dhe fitohet konstanta e ekranimit. : $\frac{\frac{1}{\lambda_{\text{Ag}}}}{\frac{1}{\lambda_{\text{I}}}} = \frac{\frac{3}{4} R(Z_{\text{Ag}} - \sigma)^2}{\frac{3}{4} R(Z_{\text{I}} - \sigma)^2} \Rightarrow \frac{\lambda_{\text{I}}}{\lambda_{\text{Ag}}} = \frac{(Z_{\text{Ag}} - \sigma)^2}{(Z_{\text{I}} - \sigma)^2} \Rightarrow \sigma = \frac{Z_{\text{Ag}} - \sqrt{\frac{\lambda_{\text{I}}}{\lambda_{\text{Ag}}}} Z_{\text{Mo}}}{1 - \sqrt{\frac{\lambda_{\text{I}}}{\lambda_{\text{Ag}}}}} = 1.$ Duke e zëvendësuar rezultatin në cilindo nga dy barazimet e para, mund të përcaktohet vlera e konstantës së Ridbergut. Për shembull: $\frac{1}{\lambda_{\text{Ag}}} = \frac{3}{4} R(Z_{\text{Ag}} - \sigma)^2 \Rightarrow R = \frac{4}{3\lambda_{\text{Ag}}(Z_{\text{Ag}} - \sigma)^2} = 1,12 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}.$
Kërkohet: $\sigma - ?, R - ?$	

Vlera e fituar e konstantës së Ridbergut është e të njëjtit rend madhësie, por ndryshon nga vlera e fituar teorikisht. Ky ndryshim shkaktohet nga fakti se ekranimi nuk është rreptësisht konstant, veçanërisht tek atomet më të rënda, ku bashkëveprimet elektron–elektron janë më të ndërlikuara.

Zbatimi i rezeve rentgen dhe masat mbrojtëse

Rrezet rentgen kanë zbatim të rëndësishëm në mjekësi për shkak të fuqisë së tyre të madhe depërtuese dhe absorbimit të ndryshëm në inde të ndryshme. Gjatë incizimit me reze rentgen, kockat i absorbojnë këto reze më fuqishëm se indet e buta, prandaj në imazh krijohet një kontrast i qartë. Kjo mundëson zbulimin e thyerjeve, sëmundjeve të mushkërive dhe ndryshimeve në nyje. Përveç diagnostikimit klasik me reze rentgen, përdoret edhe tomografia e kompjuterizuar. Nëpërmjet një serie imazhesh rentgen dhe përpunimit kompjuterik fitohen imazhe shtesore të trupit me rezolucion të lartë. Rrezet rentgen përdoren edhe në stomatologji dhe gjatë disa ndërhyrjeve mjekësore, kur nevojitet kontrollimi i pozitës së instrumenteve.

Në industri, rrezet rentgen përdoren për kontrollimin jodestruktiv të materialeve. Me këtë metodë mund të zbulohen plasaritje, zgavra dhe defekte në konstruksionet metalike dhe në lidhjet e salduara, pa i dëmtuar ato. Një parim i ngjashëm zbatohet edhe në sistemet e sigurisë, si gjatë kontrollimit të bagazheve, ku absorbimi i ndryshëm mundëson dallimin e objekteve..

Meqenëse rrezet rentgen janë rrezatim jonizues, në doza të mëdha ose gjatë ekspozimit të shpeshtë mund të shkaktojnë efekte të dëmshme biologjike. Jonizimi në inde mund të shkaktojë dëmtimin e disa qelizave dhe të acidit dezoksiribonukleik (ADN-së). Prandaj, gjatë përdorimit të tyre respektohen rregullat themelore të mbrojtjes radiologjike:

- koha e ekspozimit duhet të jetë sa më e shkurtër;
- largësia nga burimi i rrezatimit rentgen duhet të jetë sa më e madhe;
- duhet të përdoret ekranim i përshtatshëm mbrojtës.

Me ekranim nënkuptohet përdorimi i materialeve që i absorbojnë fuqishëm rrezet rentgen, si plumbi ose xhami i posaçëm mbrojtës. Në mjekësi përdoren barriera prej plumbi, mure mbrojtëse dhe përparëse prej

plumbi, të cilat e zvogëlojnë rrezatimin që arrin te personeli dhe pacientët. Me zbatimin e këtyre masave, përfitimet nga rrezet rentgen janë të mëdha, ndërsa rreziku për shëndetin zvogëlohet në minimum.



MËSO MË SHUMË

Ligji i Mozlit

Eksperimentet me spektrat karakteristike rentgen treguan edhe një rregullsi tjetër të rëndësishme: frekuencat e rrezeve karakteristike rentgen varen nga numri atomik Z i elementit nga i cili fitohen. Kjo varësi përmbledhet në Ligjin e Mozlit, i cili për vijat karakteristike mund të shkruhet në formën përkatëse.

$$f = A(Z - \sigma)^2,$$

ku A është një konstante që varet nga seria, për shembull seria K ose L, ndërsa σ është konstanta e ekranimit. Ligji tregon se, për një seri të caktuar, rrënja katrore e frekuencës së vijës karakteristike është funksion linear i numrit atomik Z :

$$\sqrt{f} = \sqrt{A}(Z - \sigma).$$

Praktikisht, kjo do të thotë se, nëse përcaktohen frekuencat e një vije karakteristike (për shembull K_α) Për më shumë elemente, nëse ndërtohet grafiku i $\sqrt{f}$ në varësi të Z , përftohet një vijë e drejtë. Ligji i Moseley-t do të ishte jashtëzakonisht i rëndësishëm po të tregonte se vijat karakteristike të rrezeve X janë të lidhura drejtpërdrejt me numrin atomik dhe, në këtë mënyrë, do të konfirmonte kuptimin fizik të Z -së si masë e ngarkesës së bërthamës



PYETJE DHE DETYRA

1. Ku ndodhen rrezet rentgen në spektrin elektromagnetik dhe si lidhet gjatësia e tyre valore me fuqinë depërtuese?
2. Shpjegoni pse rrezet rentgen kalojnë më lehtë nëpër indet e buta dhe më vështirë nëpër kocka e metale. Cilat veti të materialit ndikojnë në absorbim?
3. Çfarë nënkuptohet me dobësimin e intensitetit të një tufe rrezesh rentgen gjatë kalimit nëpër një material dhe cilat procese, absorbimi apo shpërndarja, e shkaktojnë atë?
4. Në rrugën e rrezeve rentgen është vendosur një pllakë plumbi me trashësi 0,3cm dhe koeficient linear absorbimi 52 cm^{-1} . Sa duhet të jetë trashësia e një flete alumini që e zëvendëson pllakën e plumbit, në mënyrë që dobësimi i intensitetit të rrezeve rentgen të jetë i njëjtë, nëse koeficienti linear i absorbimit të aluminit është $0,76 \text{ cm}^{-1}$. (Zgjidhja: 20,5 cm)
5. Me rritjen e trashësisë së shtresës së ujit për 6cm, intensiteti i rrezeve rentgen zvogëlohet katër herë. Përcaktoni koeficientin e absorbimit të ujit për rrezet rentgen. (Zgjidhja: $0,23 \text{ cm}^{-1}$)
6. Llogaritni kufirin e poshtëm të spektrit të vazhdueshëm rentgen, nëse diferenca përshpejtuese e potencialit në tubin rentgen është 35000 V. (Zgjidhja: $3,6 \cdot 10^{-11} \text{ m}$)
7. Duke ditur vetëm se konstanta e ekranimit për K_α -është 1 dhe se energjia e jonizimit të hidrogjenit është 13,6eV, përcaktoni gjatësinë valore të vijës K_α -të argjendit. ($Z = 47$). (Zgjidhja: $5,7 \cdot 10^{-11} \text{ m}$)

4.6. Bërthama atomike dhe forcat bërthamore

Studimi i ndërtimit dhe i vetive të bërthamave atomike (nuklideve) përbën objektin e **fizikës bërthamore**, e cila u zhvillua si degë e veçantë e fizikës që nga fillimi i shekullit XX. Sot e dimë se çdo atom përbëhet nga bërthama atomike dhe mbështjellësi elektronik. Bërthama është pjesa qendrore, shumë e vogël, por masive e atomit, në të cilën ndodhet pothuajse e gjithë masa e tij. Në bërthamë ndodhen protonet dhe neutronet, të cilat me një emër të përbashkët quhen nukleone. Protonet kanë ngarkesë elektrike pozitive, ndërsa neutronet janë elektriksht neutrale. Prandaj, bërthama atomike është e ngarkuar pozitivisht. Elektronet në mbështjellës kanë ngarkesë negative, kështu që atomi në tërësi është elektroneutral..

Numri atomik dhe numri i masës

Shënimi i bërthamave të atomeve të ndryshme është përcaktuar qartë dhe të njëjtat shënime përdoren kudo. Numri atomik Z paraqet numrin e protoneve në bërthamën atomike. Ai quhet edhe numri rendor i atomit, sepse përcakton pozitën e elementit në Sistemin periodik të elementeve. Jafton të njihet numri atomik për të përcaktuar se për cilin element bëhet fjalë. Për shembull, të gjitha atomet me numër atomik $Z=6$ janë atome karboni, ndërsa të gjitha atomet me numër atomik $Z=92$ janë atome uranumi. Në të kundërt, nëse e njohim elementin, numrin e tij atomik mund ta gjejmë menjëherë në Sistemin periodik. Për shembull, oksigjeni ka numër atomik $Z=8$, ndërsa argjendi ka numër atomik $Z=47$.

Çdo proton ka ngarkesë të barabartë me ngarkesën elementare dhe me shenjë pozitive $+e$. Prandaj, ngarkesa e përgjithshme elektrike e bërthamës është:

$$Q = +Ze.$$

Përveç protoneve, në bërthamë ndodhen edhe neutronet. Prandaj, paraqitet numri i masës A , i cili tregon numrin e përgjithshëm të nukleoneve në bërthamë, përkatësisht shumën e protoneve dhe të neutroneve

$$A = Z + N,$$

ku N është numri i neutroneve. Nëse dihen numri atomik dhe numri i masës, numri i neutroneve përcaktohet nga ndryshimi ndërmjet numrit të masës dhe numrit atomik.

$$N = A - Z.$$

Është e rëndësishme të dallohet **shënimi i bërthamës nga simboli kimik i atomit**. Në kimi, elementet zakonisht shënohen vetëm me simbolin kimik X , (për shembull H , Na , O , U), sepse rëndësi të veçantë ka numri i elektroneve në mbështjellës. Tek atomi elektriksht neutral, numri i elektroneve është i barabartë me numrin e protoneve, përkatësisht me numrin atomik.

Në fizikën bërthamore duhet të dihen si numri atomik, ashtu edhe numri i masës, sepse prej tyre varen qëndrueshmëria e bërthamave dhe proceset e mundshme bërthamore. Prandaj, bërthamat atomike shënohen me simbolin kimik X , numrin e masës A dhe numrin atomik Z .

$${}^A_ZX.$$

Për shembull, bërthama e karbonit që përmban 6 protone dhe 6 neutrone shënohet: ${}^{12}_6C$. Bërthama e hidrogjenit që nuk përmban neutrone shënohet 1_1H , ndërsa heliumi, bërthama e të cilit përmban 2 neutrone, shënohet 4_2He . Bërthama më masive e njohur është bërthama e oganesonit ${}^{294}_{118}Og$.

Në praktikë përdoret shpesh edhe shënimi i shkurtuar i bërthamave, në të cilin jepen vetëm simboli kimik dhe numri i masës, për shembull ${}^{14}C$ ose ${}^{238}U$. Meqenëse simboli kimik i elementit e përcakton menjëherë numrin atomik, ky i fundit mund të mos shkruhet. Ndonjëherë bërthamat shënohen edhe me emrin e elementit kimik dhe numrin e masës, si (karbon-14 dhe uranium-238).

Izotopet dhe izobaret

Ndoshta keni vërejtur se në paragrafët e mëparshëm përmendëm karbonin me dy numra të ndryshëm të masës : ^{12}C dhe ^{14}C . Të dyja janë bërthama karboni, por nuk kanë numër të njëjtë neutronesh. Bërthamat e tilla quhen izotope. Izotopet janë bërthama me numër atomik Z të njëjtë, por me numër mase A të ndryshëm. Shembuj janë tri izotopet e hidrogjenit që gjenden në natyrë: ^1_1H (hidrogjeni), ^2_1H (deuteriumi) dhe ^3_1H (triciumi). Dy të parat janë të qëndrueshme, ndërsa triciumi mund të ekzistojë vetëm për një kohë të kufizuar. Izotope janë edhe bërthamat e karbonit: $^{11}_6\text{C}$, $^{12}_6\text{C}$, $^{13}_6\text{C}$ dhe $^{14}_6\text{C}$. Prej tyre, të qëndrueshme janë vetëm bërthamat e $^{12}_6\text{C}$ dhe $^{13}_6\text{C}$.

Elementet e ndryshme mund të kenë disa izotope, prej të cilave vetëm disa janë të qëndrueshme. Të tjerat janë të paqëndrueshme dhe pas një kohe zbërthehen, prandaj quhen radioaktive. Këtë dukuri do ta shqyrtojmë në mësimin vijues. Izotopet e hidrogjenit kanë emërtime të veçanta, por kjo nuk vlen për të gjitha elementet. Bërthama e ^1_1H është e veçantë, sepse është e vetmja bërthamë e qëndrueshme e përbërë vetëm nga një proton dhe pa neutrone. Nuk ekziston asnjë bërthamë tjetër e qëndrueshme e përbërë vetëm nga protone ose vetëm nga neutrone.

Ekzistojnë edhe bërthama me numër mase A të njëjtë, por me numër atomik Z të ndryshëm. Bërthamat e tilla quhen izobare. Izobaret janë bërthama të atomeve të elementeve të ndryshme. Shembuj janë $^{14}_7\text{N}$ dhe $^{14}_6\text{C}$ dhe $^{16}_8\text{O}$ dhe $^{16}_9\text{F}$, dhe $^{40}_{18}\text{Ar}$, $^{40}_{19}\text{K}$ dhe $^{40}_{20}\text{Ca}$. Bërthamat që kanë numër të njëjtë neutronesh N , por numër atomik Z të ndryshëm, quhen izotone. Edhe izotonet janë bërthama të elementeve të ndryshme. Shembuj janë $^{14}_6\text{C}$ dhe $^{15}_7\text{N}$ dhe $^{15}_7\text{N}$ dhe $^{16}_8\text{O}$ dhe $^{17}_9\text{F}$.

Rëndësia e këtyre koncepteve do të bëhet më e qartë kur të studiojmë ndryshimet në bërthama që ndodhin gjatë zbërthimit radioaktiv dhe reaksioneve bërthamore..



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Sa protone dhe sa neutrone ka bërthama e natriumit $^{23}_{11}\text{Na}$? Sa është ngarkesa e bërthamës?

Zgjidhje:

Numri atomik është $Z = 11$, që do të thotë se në bërthamë ka 11 protone. Ky informacion mund të merret edhe nga numri rendor i natriumit në Sistemin periodik të elementeve. Numri i masës $A = 23$. Prej tij përcaktohet numri i neutroneve: $N = A - Z = 23 - 11 = 12$.

Pra, bërthama përmban 11 protone dhe 12 neutrone. Ngarkesa e përgjithshme elektrike e saj është pozitive dhe e barabartë me ngarkesën e 11 protoneve $Q = +11e$.

Njësia e unifikuar e masës atomike

Masat e protoneve, neutroneve dhe bërthamave atomike janë shumë të vogla për t'u shprehur në kilogramë. Prandaj, në fizikën bërthamore është paraqitur një njësi e posaçme e masës, e quajtur njësia e unifikuar e masës atomike, e cila shënohet me u .

Njësia e unifikuar e masës atomike përkufizohet si një e dymbëdhjeta e masës së atomit të izotopit $^{12}_6\text{C}$:

$$1u = \frac{1}{12}m(^{12}_6\text{C})$$

Vlera numerike e kësaj njësie është afërsisht: $1u = 1,66025 \cdot 10^{-27}\text{kg}$.

Sipas teorisë së Ajnshtajnit, ndërmjet masës dhe energjisë ekziston një barasvlerë. Kjo do të thotë se një

grimcë mund të shndërrohet plotësisht në energji. Në këtë rast, energjia e fituar, në formën e një ose më shumë kuantëve të energjisë, mund të llogaritet me formulën përkatëse

$$E = mc^2,$$

ku m është masa e grimcës në prehje, ndërsa c është shpejtësia e dritës. Duke përdorur këtë relacion, masat e nukleoneve dhe të bërthamave shpesh shprehen nëpërmjet energjisë. Për shembull mund të shënojmë:

$$1u = 1,49225 \frac{\text{J}}{c^2} = 931,494 \frac{\text{MeV}}{c^2}.$$

Prandaj, masa e protonit m_p dhe masa e neutronit m_n është:

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,0072u = 938,27 \frac{\text{MeV}}{c^2},$$

$$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 1,0087u = 939,57 \frac{\text{MeV}}{c^2}.$$

Masat e protonit dhe të neutronit janë afërsisht të barabarta, por masa e neutronit është pak më e madhe. Për krahasim, masa e elektronit është afërsisht 1840 herë më e vogël se masa e protonit dhe e neutronit. Prandaj, zakonisht mund të konsiderojmë se pothuajse e gjithë masa e atomit është e përqendruar në bërthamën e tij.

Masa e bërthamës më të lehtë, bërthamës së ^1_1H , është afërsisht 1,008u, ndërsa masa e bërthamës më masive të njohur, oganesonit, $^{294}_{118}\text{Og}$, është afërsisht 294,2u. Mund të vërehet se numri i masës A është përafërsisht i barabartë me masën e bërthamës të shprehur në njësi të unifikuara të masës atomike.

Forca e fortë bërthamore (nukleare)

Në shikim të parë, ekzistenca e bërthamës atomike duket misterioze: një numër i madh grimcash janë të ngjeshura në një hapësirë shumë të vogël, ku një pjesë e tyre janë të ngarkuara pozitivisht, ndërsa të tjerat janë neutrale. Shtrohet pyetja: pse forca shtytëse e Kulonit ndërmjet protoneve nuk e shpërbën bërthamën?

Që bërthama të jetë e qëndrueshme, ndërmjet nukleoneve në largësi shumë të vogla duhet të veprojë një forcë tërheqëse më e fuqishme. Kjo forcë, e cila e mban bërthamën si një tërësi, quhet forca e fortë bërthamore ose forca e fortë nukleare. Ajo vepron ndërmjet të gjitha nukleoneve: proton–proton, proton–neutron dhe neutron–neutron.

Në natyrë ekziston edhe forca e dobët bërthamore, por ajo nuk merr pjesë në ruajtjen e qëndrueshmërisë së bërthamës.

Forca e fortë bërthamore ndryshon në thelb nga forca elektrostатike. Vetitë e saj kryesore janë:

- është shumë më e fuqishme se forca shtytëse elektrostатike ndërmjet protoneve brenda bërthamës.
- vepron vetëm në largësi shumë të vogla, të rendit të disa femtometrave (fm).
- ka vetinë e ngopjes: çdo nukleon bashkëvepron vetëm me nukleonet më të afërta dhe jo me të gjitha nukleonet e bërthamës.
- në largësi edhe më të vogla bëhet shtytëse, duke penguar ngjeshjen e materies bërthamore.
- nuk varet nga ngarkesa elektrike e nukleoneve: në të njëjtën largësi është e njëjtë ndërmjet dy protoneve, dy neutroneve ose një protoni dhe një neutroni.

Këto veti të forcës së fortë bërthamore shpjegojnë pse bërthamat atomike kanë përmasa të kufizuara, pse

dendësia e tyre është afërsisht konstante në pjesën më të madhe të bërthamës dhe pse qëndrueshmëria e tyre varet nga raporti ndërmjet numrit të protoneve dhe të neutroneve.

Dendësia dhe rrezja e bërthamave

Dendësia e bërthamës atomike është afërsisht e njëjtë në pjesën më të madhe të vëllimit të saj, me përjashtim të një shtrese të hollë pranë sipërfaqes së bërthamës. Kjo është e pritshme, sepse forca e fortë bërthamore ka karakter të ndërlikuar: ajo është tërheqëse në largësi të vogla, por bëhet shtytëse kur nukleonet ndodhen në largësi edhe më të vogla nga njëri-tjetri. Në këtë mënyrë pengohet ngjeshja e mëtejshme e materies bërthamore.

Edhe pse bërthamat atomike ndryshojnë sipas numrit të nukleoneve, dendësia e tyre, e quajtur (shpesh edhe dendësia e materies bërthamore) është afërsisht e njëjtë për të gjitha bërthamat. Prandaj, vëllimi i bërthamës është në përpjesëtim të drejtë me numrin e nukleoneve, përkatësisht me numrin e masës: $V \sim A$. Nëse bërthamën e përfytyrojmë si një sferë me rreze R , vëllimi i tij është $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, nga këtu rrjedh se $R^3 \sim A$. Për ta zëvendësuar proporcionalitetin me barazim, paraqitet konstanta e proporcionalitetit R_0 , kështu që rrezja e bërthamës shkruhet në formën përkatëse:

$$R = R_0 A^{1/3}.$$

Nga kjo rrjedh se rrezja e bërthamës atomike rritet me rrënjën kubike të numrit të masës. Konstanta R_0 është përcaktuar në mënyrë eksperimentale dhe ka vlerë të përafërt $R_0 = 1,2 \text{ fm}$.

Në figurën 1 është paraqitur varësia e rrezes së bërthamave të ndryshme nga rrënja kubike e numrit të masës. Forma lineare e grafikut vërteton se formula për rrezën e bërthamës është e vlefshme dhe se dendësia e materies bërthamore është afërsisht e njëjtë për pothuajse të gjitha bërthamat.

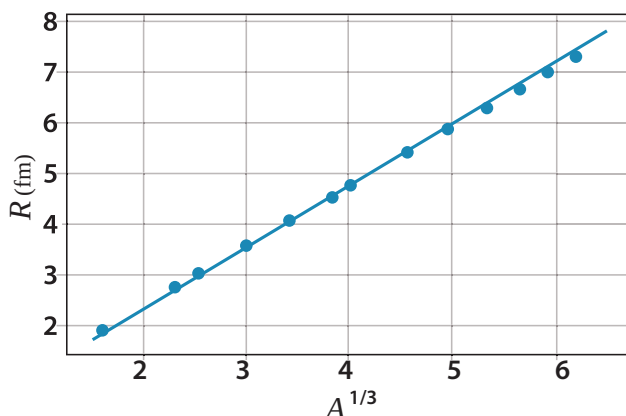


Figura 1. Varësia e rrezes së disa bërthamave nga rrënja kubike e numrit të tyre të masës



SHENBULL I ZGJIDHUR 2.

Përcaktoni dendësinë e materies bërthamore dhe masën e një kubi me vëllim 1 cm^3 , nëse ai përbëhet nga një material me dendësi të barabartë me dendësinë e materies bërthamore. Masa e bërthamës mund të shprehet në $m = Au$, ndërsa konstanta e proporcionalitetit ka vlerën $R_0 = 1,2 \text{ fm}$.

Të dhënat:

$m = Au$,
 $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$,
 $1u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$,
 $V_1 = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$
 $R_0 = 1,2 \text{ fm}$

Kërkohe:

$\rho - ?$, $M - ?$

Zgjidhje:

$$R = R_0 A^{1/3} \Rightarrow R^3 = R_0^3 A.$$

Duke pasur parasysh formulën për llogaritjen e dendësisë dhe të vëllimit të sferës $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, fitojmë:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{uA}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{uA}{\frac{4}{3}\pi (R_0^3 A)} = \frac{u}{\frac{4}{3}\pi R_0^3} = 2,3 \cdot 10^{17} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Një kub me vëllim prej 1 cm^3 , i bërë nga materie bërthamore, do të ketë masë:

$$M = \rho \cdot V_1 = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ kg}.$$

Kjo vlerë e madhe tregon se sa dendësia e materies bërthamore është më e madhe në krahasim me dendësitë e substancave.



MËSO MË SHUMË

Në vitin 1905, Albert Ajnstajni, në kuadër të Teorisë Speciale të Relativitetit, tregoi se masa dhe energjia nuk janë madhësi fizike të pavarura, por dy mënyra të ndryshme për të përshkruar të njëjtin realitet fizik. Analiza e tij tregon se, nëse një trup emeton ose absorbon energji, atëherë duhet të ndryshojë përkatësisht edhe masa e tij.

Kjo lidhje shprehet me relacionin e njohur të ekuivalencës ndërmjet masës dhe energjisë, që në formën më të thjeshtë shënohet si:

$$E = mc^2,$$

ku E është energjia në qetësi (energjia e brendshme që lidhet me vetë ekzistencën e masës), m është masa e trupit ndërsa c është shpejtësia e dritës në vakum.

Në mekanikën relativistike, ku shqyrtohet lëvizja e grimcave me shpejtësi të krahasueshme me shpejtësinë e dritës, ky relacion paraqitet si rast i veçantë i lidhjes më të përgjithshme ndërmjet energjisë dhe impulsit. Energjia e përgjithshme e një grimce me masë m dhe impuls p është dhënë:

$$E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2.$$

Nga kjo shihet se, edhe kur grimca është në qetësi (prehje) ($p = 0$), ajo ka energji të ndryshme nga zero $E = mc^2$. Kur grimca lëviz, energjia e saj e përgjithshme është më e madhe se mc^2 , ndërsa $E - mc^2$ paraqet energjinë e saj kinetike në regjimin relativistik.

Në fizikën bërthamore, relacioni $E = mc^2$ ka rëndësi të veçantë, sepse në proceset bërthamore (zbërthimet dhe reaksionet bërthamore), shfaqen ndryshime të vogla, por të matshme të masës, të cilat u përgjigjen lirimit ose absorbimit të sasive shumë të mëdha të energjisë.



PYETJE DHE DETYRA

1. Shpjego kuptimin fizik të numrit atomik Z dhe pse ai e përcakton elementin.
2. Për bërthamën $^{31}_{15}\text{P}$ llogarit N dhe shkruaj ngarkesën e bërthamës.
3. Janë dhënë bërthama $^{58}_{28}\text{Ni}$ dhe $^{58}_{26}\text{Fe}$. A janë izotope apo izobare? Arsyeto përgjigjen.
4. Duke përdorur $R = R_0 A^{1/3}$, $R_0 = 1,2 \text{ fm}$ dhe $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$, krahaso rrezet e bërthamave me $A_1 = 27$ dhe $A_2 = 216$. Sa herë rrezja e bërthamës së dytë është më e madhe se rrezja e së parës? (Zgjidhje: 2 herë)
5. Përcakto numrin e masës së një bërthame, rrezja e së cilës është afërsisht sa dy të tretat e rrezes së bërthamës së $^{230}_{88}\text{Ra}$. A mund të përcaktohet se për cilën bërthamë bëhet fjalë? Arsyeto përgjigjen. (Zgjidhja: $A = 68$)
6. Një yll që e përfundon jetën e tij me masë 4 deri në 8 herë më të madhe se masa e Diellit pritet të kolapsojë dhe më pas të shpërthejë si supernovë. Në pjesën e mbetur e cila nuk është larguar nga shpërthimi i supernovës, protonet dhe elektronet bashkohen dhe formohet një yll neutronik me masë afërsisht dy herë më të madhe se masa e Diellit. Ylli neutronik mund të konsiderohet si një bërthamë atomike gjigante. Nëse rrezja e yllit neutronik mund të llogaritet me formulën për llogaritjen e rrezes së bërthamave, llogarit rrezën e tij. Masa e yllit neutronik është $4 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. Konsidero se ylli përbëhet tërësisht nga neutrone. $m_n = 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$. (Zgjidhje: $1,6 \cdot 10^4 \text{ m}$)

4.7. Radioaktiviteti natyror

Në fund të shekullit XIX, fizikanët studionin intensivisht dukuritë që lidheshin me dritën, elektricitetin dhe rrezatimet e sapozbuluara. Në vitin 1896, **Anri Bekerel** vërejti se kripërat e uraniumit mund të ekspozonin vetvetiu një pllakë fotografike, edhe kur ishin të mbështjella me një material të errët që pengonte dritën e dukshme. Kjo ishte dëshmia e parë e qartë se disa substanca emetojnë rrezatim që nuk shkaktohet nga ndikimet e jashtme, ndryshe nga dukuri të tilla si lumineshenca.

Më vonë, Maria Sklodovska-Kiri dhe Pjer Kiri treguan se kjo dukuri është veti e atomeve të disa substancave dhe këtë veti e quajtën **radioaktivitet**.

Radioaktiviteti natyror është dukuri gjatë së cilës disa bërthama atomike shndërrohen spontanisht në bërthama të tjera, duke emetuar grimca dhe rrezatim elektromagnetik. Fjala „natyror“ thekson se procesi zhvillohet pa ndikim të jashtëm: bërthama zbërthehet vetvetiu dhe jo si pasojë e ndriçimit, ngrohjes ose e ndonjë reaksioni kimik. Ky proces quhet edhe zbërthim spontan.

Gjatë zbërthimit radioaktiv, bërthama fillestare, e quajtur **bërthamë-prind**, shndërrohet në **bërthamë-pasardhëse**, me ç'rast lirohet energji. Kjo energji paraqitet si energji kinetike e grimcave të emetuara dhe/ose si energji rrezatimi. Radioaktiviteti është një proces tërësisht bërthamor (nuklear), sepse lidhet me ndryshimet në përbërjen dhe në energjinë e bërthamës dhe jo me ndryshimet në mbështjellësin elektronik.

Arsyeja pse disa bërthama janë të qëndrueshme, ndërsa të tjerat janë radioaktive, qëndron në ekuilibrin ndërmjet dy bashkëveprimeve të kundërta brenda bërthamës (figura 1). Nga njëra anë, protonet shtyhen ndërmjet tyre për shkak të **forcës elektrostatike të Kulonit**, intensiteti i së cilës rritet me rritjen e numrit të protoneve. Nga ana tjetër, nukleonet lidhen nga **forcat e forta bërthamore**, të cilat janë tërheqëse dhe shumë më intensive se forca e Kulonit, por veprojnë vetëm në largësi shumë të vogla. Prandaj themi se forca e fortë bërthamore ka **rreze të shkurtër veprimi**.

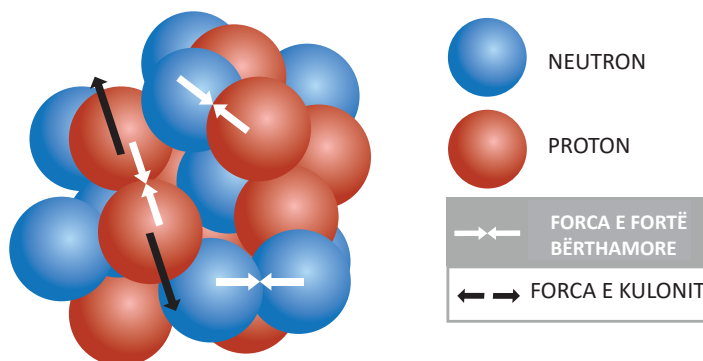


Figura 1. Forca e fortë tërheqëse bërthamore dhe forca shtytëse e Kulonit në bërthamën atomike

Për një vlerë të dhënë të numrit të masës A , mund të ekzistojnë bërthama me kombinime të ndryshme të numrit të protoneve dhe të neutroneve. Në disa prej këtyre kombinimeve, forca e përgjithshme tërheqëse bërthamore është e mjaftueshme për ta mbajtur bërthamën të bashkuar, prandaj këto bërthama janë të qëndrueshme. Në kombinime të tjera, bërthama ka energji të brendshme më të madhe dhe shndërrohet spontanisht në një bërthamë tjetër nëpërmjet zbërthimit radioaktiv. Bërthamat e tilla quhen të paqëndrueshme. Qëndrueshmëria e bërthamave atomike mund të studiohet në mënyrë eksperimentale nëpërmjet **Aktivitetit 1**.



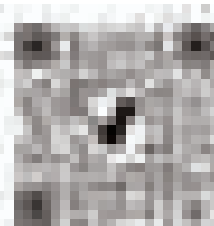
AKTIVITETI 1.

Qëndrueshmëria e bërthamës atomike

Qëllimi i aktivitetit: Të hulumtohet nëse bërthama të caktuara atomike janë të qëndrueshme apo të paqëndrueshme, në varësi të numrit të protoneve dhe neutroneve.

Veglat: Simulimi PhET: Ndërto bërthamë (Build a nucleus) i cili mund të gjendet në këtë faqe - interneti

(https://phet.colorado.edu/sims/html/build-a-nucleus/latest/build-a-nucleus_all.html).



Në simulim është paraqitur madhësia Periudha e gjysmëzbërthimit (Half-life), për të cilën do të flitet në mësimet vijuese. Në këtë aktivitet nuk analizohet vlera e saj numerike, por vetëm pozita e bërthamës në shkallën e paraqitur: nga e majta gjenden bërthama më të paqëndrueshme (*less stable*), ndërsa nga e djathta bërthama më të qëndrueshme (*more stable*). Po ashtu, simulimi shënon qartë nëse bërthama është e qëndrueshme apo e paqëndrueshme (*Stable / Unstable*).

Çaktivizojë opsionin Reja elektronike (Electron cloud), që të shfaqet vetëm bërthama atomike.

Pjesa 1. Bërthama me numër të vogël nukleonesh

Ndërtoji një nga një, bërthamat me numër protonesh dhe neutronesh sipas kësaj tablele:

Pyetje:

Protone	Neutrone
1	0
1	1
1	2
2	2
2	3
3	3
4	4
4	5
5	5
5	6

Cilat nga bërthamat e formuara janë të qëndrueshme, e cilat të paqëndrueshme?

Si ndryshon qëndrueshmëria e bërthamës nëse shtohen vetëm neutron me numër të njëjtë protonesh?

A ekziston, për një numër të dhënë protonesh, vetëm një numër neutronesh për të cilin bërthama është e qëndrueshme?

A rritet gjithmonë qëndrueshmëria kur njëkohësisht shtohen një proton dhe një neutron?

Çfarë mund të konkludohet për rolin e neutroneve në qëndrueshmërinë e bërthamës?

Nga rezultatet e aktivitetit mund të konkludohet se qëndrueshmëria e bërthamës atomike nuk varet vetëm nga numri i grimcave në të, por edhe nga raporti ndërmjet protoneve dhe neutroneve. Për kombinime të caktuara bërthamat janë të qëndrueshme, ndërsa për të tjera janë të paqëndrueshme dhe të nënshtruara ndaj zbërthimit spontan.

Pjesa 2. Bërthama me numër të madh nukleonesh

Elementi	Simboli	Z
Zirkonium	Zr	40
Molibden	Mo	42
Argjend	Ag	47
Jod	I	53
Volfram	W	74
Platin	Pt	78
Bismut	Bi	83
Polonium	Po	84
Radon	Rn	86
Uranium	U	92

Përpiquni të gjeni nëse ekziston të paktën një izotop i qëndrueshëm për secilin prej elementeve në tabelën e mëposhtme. Për elementet që kanë izotop të qëndrueshëm, shënoni numrin përkatës të masës. Kushtojini vëmendje numrit atomik Z dhe krahasojini elementet ndërmjet tyre.

Çfarë vërejtjet për lidhjen ndërmjet numrit atomik dhe qëndrueshmërisë së bërthamave?

A mund të përcaktohet një kufi i qartë, përtej të cilit nuk ekzistojnë izotope të qëndrueshme?

A janë të qëndrueshme të gjitha izotopet e elementeve me numër atomik më të vogël? Kontrolloni tekneцийin ($Z = 43$) dhe prometiumin ($Z = 61$).

Përfundimet nga Aktiviteti 1 tregojnë se qëndrueshmëria e bërthamave atomike varet nga raporti ndërmjet numrit të protoneve dhe të neutroneve, si dhe nga numri atomik i elementit. Me rritjen e numrit atomik, bërthamat e qëndrueshme bëhen gjithnjë e më të rralla ndërsa elementet me numër të madh atomik kanë vetëm izotope radioaktive. Megjithatë, nuk ekziston një kufi i prerë, sepse ka edhe përjashtime, si tekneцийi dhe prometiumi, të cilët nuk kanë izotope të qëndrueshme, megjithëse kanë numër atomik më të vogël.

Bërthamat që mund të shndërrohen spontanisht nëpërmjet zbërthimit radioaktiv quhen bërthama radioaktive. Prandaj, zbërthimi radioaktiv (ose transformimi radioaktiv) mund të kuptohet si një proces natyror, gjatë të cilit një bërthamë e paqëndrueshme (bërthamë në gjendje energjetike të ngacmuar) kalon në një gjendje energjetike më të qëndrueshme, ndërsa energjia e tepërt çlirohet në formën e rrezatimit jonizues. Çdo element kimik ka disa izotope, prej të cilave disa janë të qëndrueshme, ndërsa të tjera janë radioaktive. Ekzistojnë edhe elemente që nuk kanë asnjë izotop të qëndrueshëm. Bismuti ($Z = 83$) është elementi i fundit

në Sistemin periodik që ka izotop të qëndrueshëm

Elementet kimike më të rënda, të cilat nuk kanë izotope të qëndrueshme, duke filluar nga poloniumi ($Z = 84$), nuk janë të përhapura në mënyrë të barabartë në natyrë. Disa prej tyre gjenden në mineralet dhe shkëmbinjtë e Tokës ndërsa të tjerat nuk paraqiten në natyrë dhe janë fituar në mënyrë artificiale. Prania natyrore e elementeve më të rënda është shumë e vogël, megjithëse disa prej tyre mund të gjenden në formë gjurmësh, si produkte të zbërthimeve natyrore, për shembull në xeherorët e uranimit.

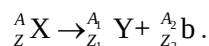
Kur duam të theksojmë se një izotop është radioaktiv, përdorim termin **radioizotop**. Rrezatimet që emetohen gjatë zbërthimit të radioizotopeve kanë energji të mjaftueshme për të shkaktuar jonizim, përkatësisht për të shpëputur elektrone nga atomet, prandaj quhen **rrezatime jonizuese**. Radioaktiviteti është veti e bërthamave dhe jo e rrezatimit, prandaj termi „rrezatim radioaktiv“ është i pasaktë dhe nuk duhet të përdoret.

Rrezatimi jonizues që buron nga bërthamat atomike ka rëndësi jo vetëm si dukuri natyrore dhe si burim informacioni për strukturën e bërthamës, por edhe si një dukuri nga e cila duhet të mbrohem për shkak të efekteve të mundshme biologjike.

Ligjet e ruajtjes gjatë zbërthimeve radioaktive

Gjatë çdo zbërthimi radioaktiv duhet të përmbushen ligjet themelore të ruajtjes sepse ato mundësojnë përcaktimin e saktë të bërthamës së sapoformuar dhe të energjisë që çlirohet gjatë zbërthimit radioaktiv.

Në rastin e përgjithshëm, zbërthimi i një bërthame-prind A_ZX , në një bërthamë-pasardhëse ${}^A_{Z_1}Y$ dhe emetohet grimcë ${}^{A_2}_{Z_2}b$, shënohet në formën e dhënë:



Shigjeta tregon se procesi zhvillohet vetëm në një kahje, përkatësisht se nuk është i kthyeshëm. Në këtë mënyrë, në mësimet vijuese do t'i shënojmë edhe reaksionet bërthamore.

Zakonisht, bërthama-pasardhëse dhe grimca e emetuar quhen **produkte të zbërthimit radioaktiv**. Gjatë disa zbërthimeve mund të emetohen edhe më shumë grimca, por për thjeshtësi këtu do të shqyrtojmë vetëm rastet kur emetohet një grimcë.

Gjatë çdo zbërthimi bërthamor vlejnë katër ligje të ruajtjes:

1. Ligji i ruajtjes së numrit të nukleoneve. Numri i përgjithshëm i nukleoneve para dhe pas zbërthimit është i njëjtë.

$$A = A_1 + A_2.$$

2. Ligji i ruajtjes së ngarkesës elektrike. Ngarkesa e përgjithshme elektrike para zbërthimit është e barabartë me ngarkesën e përgjithshme elektrike pas zbërthimit. Meqenëse ngarkesa elektrike e bërthamës dhe e grimcës përcaktohet nga numri atomik, ky kusht shkruhet në formën e dhënë:

$$Z = Z_1 + Z_2.$$

3. Ligji i ruajtjes së impulsit. Impulsi i bërthamës-prind është i barabartë me shumën vektoriale të impulseve të bërthamës-pasardhëse dhe të grimcës së emetuar.

$$\vec{p}_X = \vec{p}_Y + \vec{p}_b.$$

4. Ligji i ruajtjes së energjisë. Energjia e përgjithshme e sistemit para dhe pas zbërthimit radioaktiv është e njëjtë.

$$E_X = E_Y + E_b.$$

Por këtu duhet të theksohet se shqyrtohet energjia e përgjithshme në proces dhe jo vetëm energjia mekanike. Pra, duhet të merret parasysh edhe energjia që ka grimca për shkak të masës së saj, në përputhje me relacionin e Ajnshtajnit për ekuivalencën ndërmjet masës dhe energjisë $E = mc^2$. Secila prej grimcave në zbërthimin bërthamor mund të ketë edhe energji kinetike, prandaj në Ligjin e ruajtjes së energjisë duhet të merret parasysh edhe energjia kinetike e bërthamës-prind ($E_{k,X}$), si dhe energjia kinetike e produkteve të

zbërthimit ($E_{k,Y}$, $E_{k,b}$):

$$M_X c^2 + E_{k,X} = M_Y c^2 + m_p c^2 + E_{k,Y} + E_{k,b}.$$

Nga Ligji i ruajtjes mund të llogaritet energjia Q që çlirohet gjatë zbërthimit radioaktiv, si ndryshim ndërmjet masës së bërthamës-prin dhe masës së produkteve të zbërthimit i shumëzuar me c^2 :

$$Q = (M_X - M_Y - m_b) c^2.$$

Zbërthimi lejohet nga pikëpamja energjetike vetëm nëse $Q > 0$, dhe kjo energji shpërndahet si energji kinetike ndërmjet bërthamës-pasardhëse dhe grimcës së emetuar:

$$Q = E_{k,Y} + E_{k,b} - E_{k,X}.$$

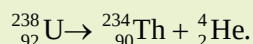
Në disa raste, një pjesë e kësaj energjie mund të mbetet në bërthamën-pasardhëse dhe më pas të emetohet në formën e një ose të disa kuantëve të energjisë. Për bërthamat e tilla themi se ndodhen në gjendje energjetike të ngacmuar.

Këto katër ligje: ligji i ruajtjes së numrit të nukleoneve, ligji i ruajtjes së ngarkesës elektrike, ligji i ruajtjes së impulsit dhe ligji i ruajtjes së energjisë, përbëjnë bazën për analizimin jo vetëm të zbërthimeve radioaktive, por edhe të reaksioneve bërthamore.



NË DISA RASTE, NJË

Sa energji çlirohet gjatë zbërthimit radioaktiv vijues?



Masat e grimcave: $M_{\text{U}} = 238,0508\text{u}$, $M_{\text{Th}} = 234,0436\text{u}$ dhe $M_{\text{He}} = 4,0026\text{u}$.

Të dhënat: $M_{\text{U}} = 238,0508\text{u}$, $M_{\text{Th}} = 234,0436\text{u}$, $1\text{u} \cdot c^2 = 931,5\text{MeV}$, $1\text{u} \cdot c^2 = 931,5\text{MeV}$, $M_{\text{He}} = 4,0026\text{u}$	Kërkohet: $Q - ?$
Zgjidhje: Energjia e çliruar gjatë zbërthimit është: $Q = (M_X - M_Y - m_b) c^2.$ Për zbërthimin e ${}_{92}^{238}\text{U}$, kjo vlerë do të jetë: $Q = (238,051 - 234,044 - 4,003)\text{u} \cdot c^2 = 0,004\text{u} \cdot c^2 = 3,7\text{MeV}.$	

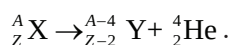
Llojet më të shpeshta të zbërthimit radioaktiv

Në proceset radioaktive, bërthama e paqëndrueshme mund të zbërthehet në disa mënyra karakteristike, ku secila mënyrë lidhet me një ndryshim të caktuar në përbërjen dhe në energjinë e bërthamës. Llojet më të shpeshta të zbërthimit radioaktiv janë: zbërthimi alfa (zbërthimi α), gjatë të cilit bërthama emeton një grimcë alfa, prandaj zvogëlohen si numri i masës A , ashtu edhe numri atomik Z ; zbërthimi beta (zbërthimi β), gjatë të cilit numri i masës A mbetet i njëjtë, ndërsa numri atomik Z (dhe me këtë edhe numri i neutroneve N) ndryshon për shkak të shndërrimit të një nukleoni të bërthamës në një nukleon tjetër; dhe zbërthimi gama (zbërthimi γ), ngjatë të cilit bërthama e sapoformuar pas zbërthimit alfa ose beta e çliron energjinë e tepërt në formën e një kuantit energjie, pa ndryshuar A dhe Z .

Zbërthimi alfa

Zbërthimi alfa është mënyra më e shpeshtë e transformimit radioaktiv të **bërthamat e rënda**, përkatësisht të bërthamat me numër të madh mase. Termi bërthama të rënda përdoret për bërthamat me masë të madhe, ndërsa bërthamat me numër të vogël mase quhen **bërthama të lehta**.

Në Aktivitetin 1 pamë se bërthamat e rënda janë kryesisht të paqëndrueshme. Për të kaluar në një gjendje energjetike më të qëndrueshme, ato emetojnë një grup nukleoneesh të përbërë nga dy protone dhe dy neutrone, i cili quhet grimcë alfa (ose atom heliumi i jonizuar dyfish). Në përgjithësi, zbërthimi alfa përshkruhet me një barazim bërthamor, në të cilin bërthama-prind A_ZX shndërrohet në bërthamë-pasardhëse ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ dhe emetohet një grimcë alfa. ${}^4_2\text{He}$. Relacioni i përgjithshëm me të cilin përshkruhet zbërthimi alfa është



Nga relacioni mund të shihet drejtpërdrejt se vlejnjë Ligji i ruajtjes së numrit të nukleoneve dhe Ligji i ruajtjes së ngarkesës elektrike. Gjatë zbërthimit alfa elementi ndryshon gjithmonë: bërthama-pasardhëse i përket atomit të një elementi tjetër, i cili në Sistemin periodik ndodhet „dy vende majtas“ nga elementi i bërthamës-prind. Gjatë zbërthimit alfa ndryshojnë si masa, ashtu edhe ngarkesa e bërthamës. Në shumë raste, bërthama-pasardhëse mund të përftohet në gjendjen themelore, por mund të përftohet edhe në gjendje energjetike të ngacmuar, gjë që më vonë mund të çojë në emetimin e rrezatimit gama. Shembulli i zbërthimit alfa është zbërthimi:

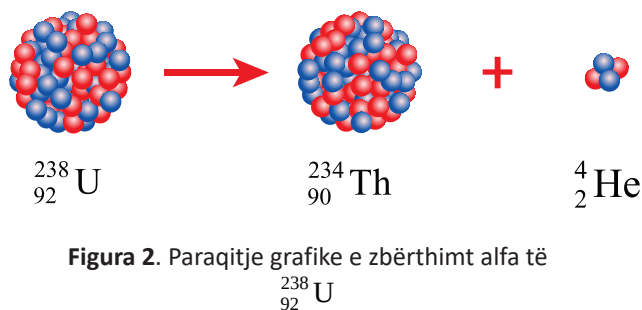
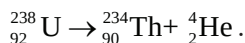


Figura 2. Paraqitje grafike e zbërthimit alfa të ${}^{238}_{92}\text{U}$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Radioizotopi ${}^{213}_{84}\text{Po}$, i cili është në qetësi, emeton një grimcë alfa me energji kinetike 8,376 MeV.

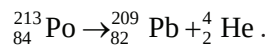
a) Shkruaj relacionin bërthamor dhe përcakto produktet e zbërthimit.

b) Bërthama-pasardhëse ndodhet në gjendjen themelore energjetike. Gjej energjinë e çliruar në këtë proces. Nxirr shprehjen për raportin ndërmjet energjisë kinetike të bërthamës-pasardhëse dhe energjisë kinetike të grimcës alfa. Të merret se pas zbërthimit, bërthama-pasardhëse dhe grimca alfa lëvizin në të njëjtin drejtim, por në kahje të kundërta, ndërsa bërthama-prind ishte në qetësi para zbërthimit.

Masa e radioizotopit ${}^{213}_{84}\text{Po}$ të merret 213u, masa e bërthamës-pasardhëse 209u, ndërsa masa e grimcës alfa 4u, ku me u shënohet njësia e unifikuar e masës. Të merret se: $1uc^2 = 931,5\text{MeV}$.

Të dhënat: $E_\alpha = 8,376\text{ MeV}$, $m_1 = 213\text{u}$, $m_2 = 209\text{u}$, $m_\alpha = 4\text{u}$ $1uc^2 = 931,5\text{MeV}$	Zgjidhje: Grimca alfa përmban dy protone, prandaj numri atomik i bërthamës-pasardhëse do të jetë: $Z = 84 - 2 = 82$. Sipas Sistemit periodik, kjo është bërthama e plumbit. Grimca alfa përmban 4 nukleone, prandaj numri i masës do të zvogëlohet për 4: $A = 213 - 4 = 209$.
Kërkohet: Cilat janë produktet e zbërthimit bërthamor? a) Q – ?	

Nga kjo, zbërthimi shkruhet në mënyrën vijuese:



b) E gjithë energjia e çliruar gjatë zbërthimit Q shndërrohet në energji kinetike të grimcës alfa dhe të bërthamës-pasardhëse. Sipas Ligjit të ruajtjes së impulsit (bërthama-prind është në qetësi) vlen

$|\overline{p}_\alpha| = |\overline{p}_{\text{Pb}}|$ Duke pasur parasysh se energjitë e bërthamës-pasardhëse dhe të grimcës alfa janë

$$E_\alpha = \frac{p_\alpha^2}{2m_\alpha} \text{ dhe } E_{\text{Pb}} = \frac{p_{\text{Pb}}^2}{2m_2}, \text{ nga kjo rrjedh: } \frac{E_{\text{Pb}}}{E_\alpha} = \frac{m_\alpha}{m_2}. \text{ Energjinë e bërthamës-pasardhëse mund ta shkruajmë:}$$

$E_{\text{Pb}} = E_\alpha \cdot \frac{m_\alpha}{m_2}$. Duke pasur parasysh se e gjithë energjia e çliruar gjatë zbërthimit alfa shndërrohet në energji kinetike të produkteve të fituara nga zbërthimi: $Q = E_{\text{Pb}} + E_\alpha$, mund të tregohet lehtë se energjia që çlirohet gjatë zbërthimit është:

$$Q = E_\alpha \left(1 - \frac{m_\alpha}{m_1}\right) = 8,541 \text{ MeV}.$$

Zbërthimi beta

Zbërthimi beta është një nga mekanizmat e shpeshtë nëpërmjet të cilëve bërthamat radioaktive kalojnë në një gjendje energjetike më të qëndrueshme, veçanërisht te bërthamat ku raporti ndërmjet numrit të neutroneve dhe numrit të protoneve është „i pafavorshëm“ për qëndrueshmërinë (bërthama me numër shumë të madh neutronesh ose bërthama me numër të madh protonev). Ndryshe nga zbërthimi alfa, gjatë zbërthimit beta numri i masës A nuk ndryshon. Meqenëse numri i përgjithshëm i nukleoneve mbetet i pandryshuar, ndryshon vetëm përbërja e bërthamës, në kuptimin që një nukleon shndërrohet në një nukleon tjetër (figura 3).

Ekzistojnë tri lloje të ndryshme të zbërthimit beta:

Zbërthimi β^- : Gjatë zbërthimit β^- në bërthamën-prind një neutron shndërrohet në proton, me ç'rast emetohen një elektron dhe një antineutrino:

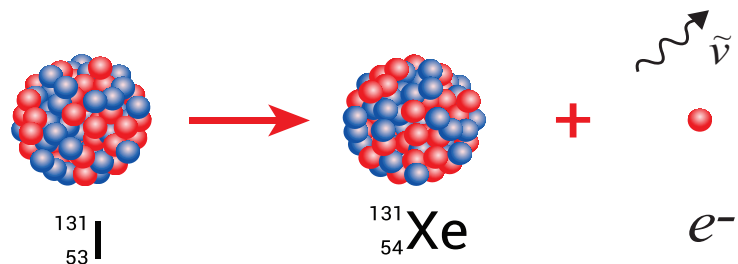
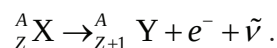


Figura 3. Paraqitje skematike e zbërthimit ${}_{53}^{131}\text{I}$

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$$

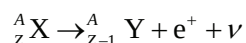
Numri atomik i bërthamës rritet për 1, ndërsa numri i masës mbetet i njëjtë. Bërthama-pasardhëse është izobar që ndodhet një vend „djathtas“ në Sistemin periodik në raport me bërthamën-prind. Forma e përgjithshme e zbërthimit β^- është:



Zbërthimi β^+ : Gjatë zbërthimit β^+ në bërthamën-prind një proton shndërrohet në neutron, me ç'rast emetohen një pozitron dhe një neutrino:

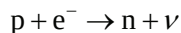
$$p \rightarrow n + e^+ + \nu.$$

Numri atomik zvogëlohet për 1, ndërsa numri i masës mbetet i njëjtë. Bërthama-pasardhëse ndodhet një vend „majtas“ në Sistemin periodik në raport me bërthamën-prind. Forma e përgjithshme e zbërthimit β^+ është:



Pozitroni e^+ është antigrimca e elektronit: ka masë të njëjtë me elektronin, por mbart ngarkesë elektrike elementare pozitive. Prania e tij mundëson ruajtjen e ngarkesës elektrike gjatë këtij zbërthimi.

Kapja elektronike (EC): Gjatë kapjes elektronike, bërthama „kap“ një elektron nga shtresat e brendshme elektronike të atomit të vet. Me këtë rast, protoni shndërrohet në neutron dhe emetohet një neutrino.



Numri atomik zvogëlohet për 1, ndërsa numri i masës mbetet i njëjtë. Ashtu si gjatë zbërthimit β^+ -bërthama-pasardhëse ndodhet një vend „majtas“ në Sistemin periodik në raport me bërthamën-prind. Forma e përgjithshme e kapjes elektronike është:

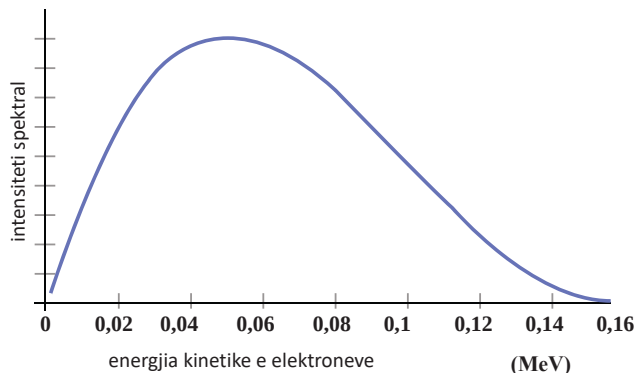
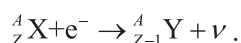


Figura 4. Spektri i vazhdueshëm i energjive kinetike të elektroneve që emetohen nga bërthamat e ${}^{14}_6\text{C}$ pas zbërthimit të tyre β^- .

Ndryshe nga zbërthimi alfa, gjatë zbërthimit beta elektronet dhe pozitronet nuk e lëshojnë bërthamën me energji kinetike të përcaktuar saktësisht, por me një spektër të vazhdueshëm të energjive kinetike (figura 4). Kjo tregon se në zbërthim merr pjesë edhe një grimcë tjetër, **neutrinoja** (ose **antineutrinoja**), e cila merr një pjesë të energjisë dhe të impulsit, duke **përmbytur kështu ligjet e ruajtjes së energjisë dhe të impulsit**.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

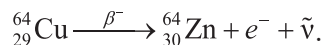
Në natyrë ekzistojnë edhe radioizotope që mund të zbërthehen sipas të tria llojeve të zbërthimit beta. I tillë është radioizotopi i bakrit ${}^{64}_{29}\text{Cu}$ i cili përdoret në mjekësi për qëllime diagnostikuese dhe terapeutike. Shkruaj barazimet për të tria llojet e zbërthimit beta: β^- -zbërthimin, β^+ -zbërthimin (EC).

Zgjidhje:

Numri i masës mbetet i njëjtë në të tria llojet e zbërthimit beta, $A = 64$.

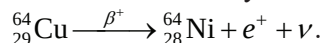
1) Zbërthimi β^- : neutroni shndërrohet në proton, $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$.

Meqenëse neutroni është shndërruar në proton, numri i përgjithshëm i protoneve është rritur dhe, bashkë me të, edhe numri atomik $Z = 29 + 1 = 30$. Kjo do të thotë se nga bërthama e bakrit është fituar bërthama e zinkut-64. Reaksioni bërthamor shkruhet në mënyrën vijuese:



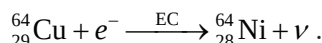
2) Zbërthimi β^+ : protoni shndërrohet në neutron, $p \rightarrow n + e^+ + \nu$.

Meqenëse protoni është shndërruar në neutron, numri i përgjithshëm i protoneve është zvogëluar dhe bashkë me të, edhe numri atomik $Z = 29 - 1 = 28$. Kjo do të thotë se bërthama e bakrit është shndërruar në bërthamë të nikelit-64. Reaksioni bërthamor shkruhet në mënyrën vijuese:



3) **Përthithja e elektronit (EC):** protoni dhe elektroni „formojnë“ një neutron, $p + e^- \rightarrow n + \nu$.

Në këtë rast, protoni përsëri është shndërruar në neutron, prandaj numri i përgjithshëm i protoneve është zvogëluar dhe bashkë me të, edhe numri atomik $Z = 29 - 1 = 28$. Kjo do të thotë se bërthama e bakrit është shndërruar në bërthamë të nikelit-64. Reaksioni bërthamor shkruhet në mënyrën vijuese:

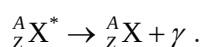


Zbërthimi gama

Ashtu si elektronet në atom mund të ekzistojnë vetëm në gjendje të caktuara energjetike, edhe bërthama atomike ka gjendje energjetike të lejuara. Gjendja me energjinë më të ulët quhet gjendje themelore energjetike, ndërsa gjendjet me energji më të madhe quhen gjendje të ngacmuara. Tek atomet, gjatë kalimit të elektronit nga një nivel energjetik më i lartë në një nivel më të ulët, ndryshimi i energjisë emetohet në formën e një fotoni. Një proces i ngjashëm zhvillohet edhe në bërthamat atomike.

Zbërthimi gama është proces radioaktiv gjatë të cilit bërthama kalon nga një gjendje energjetike më e lartë në një gjendje më të ulët, duke e çliruar energjinë e tepërt në formën e një fotoni gama. Kjo gjendje e ngacmuar krijohet më shpesh si pasojë e zbërthimit alfa ose beta, prandaj rrezatimi gama zakonisht nuk është hapi i parë i transformimit radioaktiv, por kalimi përfundimtar nëpërmjet të cilit bërthama bëhet më e qëndrueshme.

Relacioni i përgjithshëm bërthamor për emetimin gama shkruhet duke e shënuar bërthamën e ngacmuar me një yll.



Këtu, ${}_Z^AX^*$ është bërthama në gjendje energjetike të ngacmuar, ${}_Z^AX$ është e njëjta bërthamë në gjendje energjetike më të ulët (ose themelore) kurse γ është fotoni gama.

Meqenëse gjatë zbërthimit gama nuk ndryshojnë as numri i masës A dhe as numri atomik Z , përmbushen Ligji i ruajtjes së numrit të nukleoneve dhe Ligji i ruajtjes së ngarkesës elektrike. Energjia e çliruar paraqitet kryesisht si energji e fotonit gama, ndërsa energjia kinetike e bërthamës mund të shpërfillet për shkak të masës së saj të madhe. Prandaj, ndryshimi ndërmjet energjive të dy gjendjeve të bërthamës është përafërsisht i barabartë me energjinë e fotonit.

$$\Delta E \approx E_\gamma.$$

Ndikimi i rrezatimit jonizues në botën e gjallë

Rrezatimi jonizues është rrezatim që ka energji të mjaftueshme për të shpëputur elektrone nga atomet dhe molekulat, me ç'rast krijohen jone. Ky proces mund të shkaktojë dëmtimin e molekulave biologjike dhe të qelizave në organizmat e gjallë. Shkalla e ndikimit në botën e gjallë varet nga lloji dhe energjia e rrezatimit, si dhe nga mënyra e ekspozimit (i jashtëm ose i brendshëm).

Rrezatimi alfa

Rrezatimi alfa është një rrjedhë grimcash alfa, të cilat janë grimca relativisht masive me ngarkesë elektrike pozitive të dyfishtë. Prandaj, gjatë kalimit nëpër materie, grimcat alfa bashkëveprojnë fuqishëm me elektronet e atomeve dhe me molekulat, duke krijuar një numër të madh **çiftesh jonike** përgjatë trajektores së tyre. Thuhet se rrezatimi alfa ka **fuqi të madhe jonizuese, por fuqi të vogël depërtuese**.

Në ajër, grimcat alfa kanë rreze veprimi prej disa centimetrash, ndërsa në materialet e ngurta vetëm disa mikrometra. Ato ndalohen lehtë nga një shtresë e hollë letre ose nga shtresa sipërfaqësore e lëkurës dhe nuk paraqesin rrezik serioz gjatë ekspozimit të jashtëm.

Megjithatë, rrezatimi alfa mund të jetë jashtëzakonisht i rrezikshëm nëse emetuesi alfa hyn në organizëm (nëpërmjet frymëmarrjes ose ushqimit). Në këtë rast, e gjithë energjia çlirohet në një vëllim të vogël indi, duke shkaktuar jonizim të fuqishëm lokal dhe dëmtime serioze biologjike.

Rrezatimi beta

Rrezatimi beta është një rrjedhë elektronesh ose pozitronesh të shpejta. Për shkak të masës së tyre më të vogël dhe ngarkesës elektrike elementare, grimcat beta kanë fuqi më të vogël jonizuese se grimcat alfa, por fuqi më të madhe depërtuese.

Në ajër, grimcat beta (emërtim i përbashkët për elektronet dhe pozitronet e fituara gjatë zbërthimit β), në varësi të energjisë së tyre, mund të përshkojnë largësi më të mëdha, ndërsa në materialet e ngurta zakonisht ndalohen nga një shtresë materiali me trashësi prej disa milimetra deri në disa centimetra. Për mbrojtje nga rrezatimi beta përdoren më shpesh materiale me numër atomik më të vogël, si plastika ose alumini.

Nga aspekti biologjik, rrezatimi beta mund të shkaktojë dëmtime gjatë ekspozimit të jashtëm, veçanërisht në lëkurë dhe në sy. Ai është gjithashtu i rrezikshëm kur emetuesit beta hyjnë në organizëm, sepse grimcat e transmetojnë energjinë drejtpërdrejt në inde përgjatë trajektores së tyre.

Rrezatimi gama

Rrezatimi gama është rrezatim elektromagnetik me energji shumë të madhe. Ndryshe nga rrezatimi alfa dhe beta, fotonet gama nuk kanë masë dhe ngarkesë elektrike, prandaj nuk jonizojnë drejtpërdrejt. Ato e shkaktojnë jonizimin në mënyrë të **tërthortë**, nëpërmjet bashkëveprimit me atomet e materies, gjatë të cilit çlirohen elektrone sekondare.

Prandaj, rrezatimi gama ka fuqinë më të vogël jonizuese, por fuqinë më të madhe depërtuese nga të tria llojet e rrezatimit. Ai mund të kalojë nëpër materiale me trashësi të konsiderueshme, ndërsa për ekranimin e tij përdoren materiale me dendësi të madhe, si plumbi ose betoni.

Intensiteti i rrezatimit gama zvogëlohet gradualisht me rritjen e trashësisë së materialit, njësoj si te rrezatimi rentgen. Ligji i dobësimit të tufës së fotoneve gama është i njëjtë me Ligjin e dobësimit të tufës së rrezeve rentgen. Dallimi i vetëm është se koeficienti i absorbimit të materialeve për rrezatimin gama është më i vogël se koeficienti i absorbimit për rrezet rentgen.

Nga aspekti biologjik, rrezatimi gama është veçanërisht i rrezikshëm gjatë ekspozimit të jashtëm, sepse depërton lehtësisht nëpër trup dhe mund t'i dëmtojë organet dhe indet e brendshme.

Në figurën 5 janë paraqitur materialet e nevojshme për mbrojtje nga llojet e ndryshme të rrezatimit jonizues.

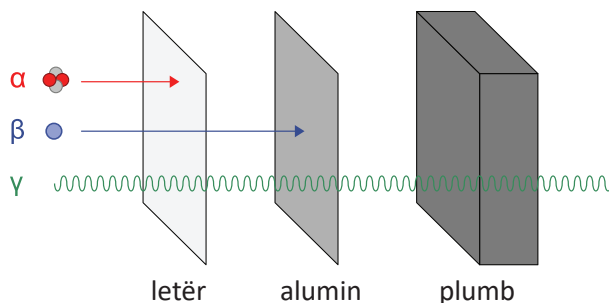


Figura 5. Paraqitje skematike e fuqisë depërtuese të rrezatimeve të ndryshme jonizuese. Trashësia e materialit nëpër të cilin mund të kalojnë rrezatimi alfa dhe beta varet nga energjia e tyre. Për rrezatimin gama vlen Ligji eksponencial i dobësimit të intensitetit të tufës.

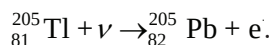
Allshar – një lidhje natyrore ndërmjet gjeologjisë dhe fizikës bërthamore

Lokaliteti mineral Allshar në malin Kozhuf është një nga shembujt e rrallë në botë ku gjeologjia dhe fizika bërthamore „takohen“ në të njëjtin vend. Bëhet fjalë për një fushë minerare hidrotermale të pasur me arsen, antimon dhe talium, në të cilën gjendet një mineral i rrallë i quajtur **loranditi** (figura 6).



Figura 6. Mostër loranditi me kristale të vogla e të dallueshme qartë, të ngulitura në një matricë minerale, e nxjerrë në lokalitetin Allshar. Kristalet arrijnë madhësi deri në disa milimetra. Kristale të tilla gjenden rrallë sepse mineralet që përmbajnë talium zakonisht nuk formojnë kristale qartësisht të dukshme.

Loranditi (TlAsS_2) është një mineral që përmban talium dhe ka rëndësi të veçantë sepse në të gjendet në mënyrë natyrore izotopi i taliumit $^{205}_{81}\text{Tl}$. TPikërisht ky izotop ka aftësinë të marrë pjesë në një reaksion bërthamor me neutrilot diellore – grimca që mbërrijnë vazhdimisht nga Dielli në Tokë. Gjatë absorbimit të një neutrinoje, bërthama e taliumit shndërrohet në një izotop të plumbit, me ç'rast emetohet një elektron. Procesi mund të shkruhet me relacionin bërthamor vijues:



Që të ndodhë ky reaksion, nevojitet energji prej afërsisht 52 keV, të cilën e kanë një pjesë e konsiderueshme e neutrinove diellore. Rëndësia e Allshar buron nga fakti se loranditi atje ekziston prej disa milionë vjetësh. Pra, me kalimin e kohës, minerali „mbledh“ informacione për ekspozimin ndaj neutrinove diellore.

Rëndësia e Allshar qëndron në faktin se natyra këtu, në thelb, ka siguruar një „detektor“ që funksionon prej miliona vjetësh. Mineralizimi i loranditit ka një vjetërsi prej afërsisht 4,31 milionë vjetësh, prandaj sasia e $^{205}_{82}\text{Pb}$ të krijuar përfaqëson një „regjistrim“ të ekspozimit afatgjatë të loranditit ndaj neutrinove diellore. Përveç kësaj, radioizotopi $^{205}_{82}\text{Pb}$ ka periudë gjysmëzbërthimi prej 15,3 milionë vjetësh, gjë që mundëson grumbullimin e tij në lorandit. Pikërisht për këtë arsye, nëpërmjet matjes së raportit të masave të $^{205}_{81}\text{Tl}$ dhe $^{205}_{82}\text{Pb}$ në loranditin e veçuar në gjendje të pastër, mund të merren informacione për fluksin e neutrinove diellore dhe rrjedhimisht, për aktivitetin e Diellit me kalimin e kohës.



MËSO MË SHUMË

Energjitë diskrete të grimcave alfa dhe gjendjet e ngacmuara të bërthamës gjatë zbërthimit alfa

Grimcat alfa që emetohen nga një radioizotop i caktuar nuk kanë domosdoshmërisht **gjithmonë të njëjtën energji**. Arsyeja është se bërthama-prind mund të zbërthehet duke kaluar në gjendje të ndryshme energjetike të bërthamës-pasardhëse. Nëse pas zbërthimit alfa bërthama-pasardhëse ndodhet në gjendjen themelore energjetike, atëherë e gjithë energjia e disponueshme e zbërthimit Q (me përjashtim të energjisë shumë të vogël të zmbropsjes së bërthamës), shndërrohet në energji kinetike të grimcës alfa. Në këtë rast, grimca alfa ka **energjinë kinetike më të madhe**.

Nëse bërthama-pasardhëse fitohet në gjendje energjetike të ngacmuar, atëherë një pjesë e energjisë Q mbetet e „ruajtur“ në bërthamën-pasardhëse. Prandaj, grimca alfa del me energji kinetike më të vogël. Si pasojë, tek emetuesit alfa shpesh vërehen grimca alfa me disa energji të ndryshme, por diskrete. Bërthama-pasardhëse e ngacmuar nuk është e qëndrueshme dhe pas një kohe të shkurtër kalon në një gjendje energjetike më të ulët, zakonisht në gjendjen themelore, me ç'rast energjia e tepërt çlirohet në formën e **kuanteve gama**.

Në figurën 7 është paraqitur diagrami energjetik i zbërthimit alfa të $^{238}_{92}\text{U}$. Gjatë këtij zbërthimi, bërthama-pasardhëse $^{234}_{90}\text{Th}$ mund të fitohet:



Figura 7. Bërthama $^{238}_{92}\text{U}$, gjatë zbërthimit alfa, emeton tri grupe grimcash alfa me energji të ndryshme, duke kaluar në bërthamën e $^{234}_{90}\text{Th}$ e cila mund të ndodhet në dy gjendje të ngacmuara, prej të cilave kalon në gjendjen themelore nëpërmjet emetimit të rrezatimit gama.

Në gjendjen themelore energjetike (e shënuar me 0^+) ose **në dy gjendje të ngacmuara** (shënuara me 2^+ dhe 4^+).

Prandaj, gjatë zbërthimit alfa të $^{238}_{92}\text{U}$, emetohen tri grupe grimcash alfa me energji të ndryshme kinetike: $E_{\alpha 1} = 4,111 \text{ MeV}$ (afërsisht në 0,1 % të rasteve), $E_{\alpha 2} = 4,224 \text{ MeV}$ (afërsisht në 20,9 % të rasteve) dhe $E_{\alpha 3} = 4,274 \text{ MeV}$ (afërsisht në 79 % të rasteve).

Në rastet kur bërthama-pasardhëse ndodhet në gjendje të ngacmuar, ajo emeton më pas kuantë gama me energji $E_{\gamma 1}$ dhe $E_{\gamma 2}$, kur kalon në gjendjen themelore energjetike. Këto kalime gama janë paraqitur me shigjeta të kaltra në diagram. Energjitë e këtyre kuantëve gama mund të llogariten si ndryshim ndërmjet energjive të bërthamave, ndërmjet të cilave kryhen kalimet:

$$E_{\gamma 1} \approx 0,113 \text{ MeV}, E_{\gamma 2} \approx 0,050 \text{ MeV}.$$

Gjendjet e ngacmuara gjatë zbërthimit beta

Një dukuri e ngjashme haset edhe gjatë zbërthimit beta. Një pjesë e energjisë që çlirohet gjatë zbërthimit beta mund të mbetet në bërthamën-pasardhëse, për të cilën themi se ndodhet në gjendje energjetike të ngacmuar. Në figurën 8 është paraqitur përthithja e elektronit të $^{40}_{19}\text{K}$. Gjatë këtij zbërthimi fitohet një bërthamë e $^{40}_{18}\text{Ar}$ e cila ndodhet:

- në gjendjen themelore energjetike (0^+),
- ose në gjendje të ngacmuar (2^+).

Gjatë kalimit nga gjendja e ngacmuar në gjendjen themelore energjetike emetohet një kuant gama me energji $E_{\gamma} \approx 1,461 \text{ MeV}$.

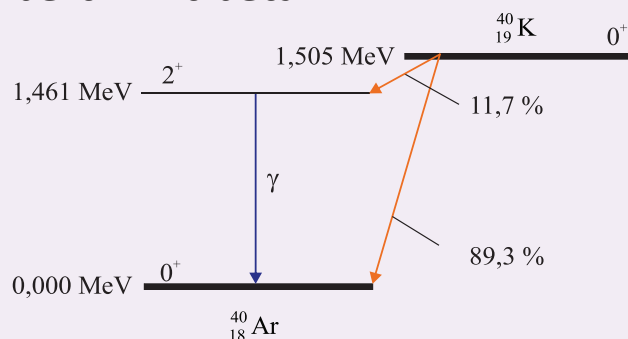


Figura 8. Bërthama e $^{40}_{19}\text{K}$, nëpërmjet përthithjes së elektronit, shndërrohet në bërthamë të $^{40}_{18}\text{Ar}$, e cila mund të ndodhet në gjendjen themelore ose në gjendje energjetike të ngacmuar.



SHKENCËTARE E NJOHUR



Maria Sklodovska-Kiri (Marie Skłodowska Curie, 1867–1934) është një nga shkencëtarët më të rëndësishëm në historinë e fizikës dhe të kimisë, si dhe një figurë kyç në studimin e radioaktivitetit. Së bashku me bashkëshortin e saj, Pjer Kiri, ajo vazhdoi kërkimet e filluara nga Anri Bekerel dhe ishte e para që përdori termin radioaktivitet për të përshkruar rrezatimin spontan që emetojnë disa elemente. Maria Kiri tregoi se radioaktiviteti është veti e brendshme e bërthamës dhe jo rezultat i reaksioneve kimike, gjë që përbënte një ndryshim revolucionar në kuptimin e atëhershëm të materies.

Gjatë punës së saj, Maria Kiri zbuloi dy elemente të reja kimike: poloniumin, të emërtuar sipas atdheut të saj, Polonisë, dhe radiumin. Ajo zhvilloi metoda të ndërlikuara dhe jashtëzakonisht të sakta për izolimin e elementeve radioaktive nga xeherori, veçanërisht nga xeherori i uraniumit, pehblenda. Këto kërkime zgjatën shumë dhe ishin fizikisht rraskapitëse, por falë tyre u fitua për herë të parë radium i pastër, gjë që mundësoi të kuptohej më mirë natyra e rrezatimit që buron nga bërthamat.

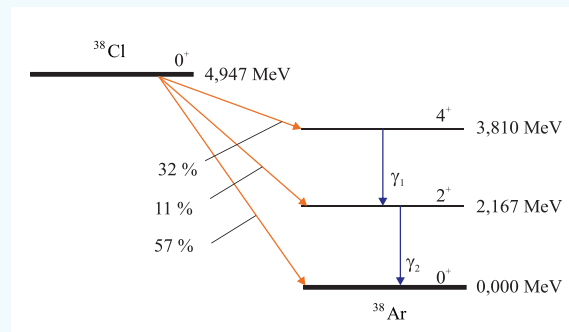
Puna e Maria Kirit ka rëndësi të jashtëzakonshme shkencore dhe praktike. Ajo e fitoi dy herë Çmimin Nobel: në fizikë më 1903, së bashku me Pjer Kirinë dhe Anri Bekerel, dhe në kimi më 1911, individualisht. Kjo e bën atë gruan e vetme të nderuar me Çmimin Nobel në dy fusha të ndryshme

shkencore. Kërkimet e saj hodhën themelet e fizikës bërthamore dhe të radiokimisë ndërsa përdorimi i elementeve radioaktive më vonë luajti rol të rëndësishëm në mjekësi, veçanërisht në diagnostikimin dhe në terapinë e sëmundjeve malinje.



PYETJE DHE DETYRA

- Shpjego pse radioaktiviteti është veti e brendshme e substancës dhe jo pasojë e ndikimit të jashtëm?
- Çfarë nënkuptohet me „bërthamë-prind“ dhe „bërthamë-pasardhëse“?
- Pse te bërthamat e rënda rritet paqëndrueshmëria kur numri i protoneve është i madh? Lidhe përgjigjen me forcën dëbuese të Kulonit dhe me forcën e fortë bërthamore).
- Pse themi se forca e fortë bërthamore ka rreze të shkurtër veprimi dhe pse kjo është e rëndësishme për qëndrueshmërinë?
- Radioizotopi $^{226}_{88}\text{Ra}$ zbërthehet nëpërmjet zbërthimit.
 - Shkruaj reaksionin bërthamor dhe përcakto bërthamën që përftohet gjatë zbërthimit.
 - Nëse masa e bërthamës së $^{226}_{88}\text{Ra}$ është 226,0254 u, masa e bërthamës-pasardhëse është 222,0176 u, ndërsa masa e grimcës alfa është 4,006 u, përcakto energjinë që çlirohet gjatë zbërthimit alfa. Të merret se $1\text{ u} \cdot c^2 = 931,5\text{ MeV}$. (përcakto energjinë që çlirohet gjatë zbërthimit alfa. Të merret se: 1,68 MeV)
- Në figurën e mëposhtme është paraqitur në mënyrë skematike zbërthimi i $^{38}_{17}\text{Cl}$.
 - Shkruaj barazimin bërthamor për zbërthimin beta të $^{38}_{17}\text{Cl}$ dhe përcakto numrin atomik të izotopit të Ar.
 - Nga skema mund të shihet se gjatë zbërthimit beta të $^{38}_{17}\text{Cl}$, bërthama e ^{38}Ar mund të ndodhet në gjendjen themelore në 57 % të rasteve, në gjendjen e parë të ngacmuar në 11 % të rasteve, ndërsa në gjendjen e dytë të ngacmuar në 32 % të rasteve. Përcakto sa kuantë gama do të emetohen për çdo 100 zbërthime të bërthamës së $^{38}_{17}\text{Cl}$. (Zgjidhja: 75)



4.8. Ligji i zbërthimit radioaktiv

Te bërthamat radioaktive pamë se ekzistojnë lloje të ndryshme zbërthimesh - α , β dhe γ . Por menjëherë shtrohen disa pyetje të rëndësishme: kur do të ndodhë saktësisht zbërthimi i një bërthame? A mund të parashikohet paraprakisht momenti i zbërthimit të çdo atomi veçmas? Nëse kjo nuk është e mundur, a mund të marrim informacione për gjendjen e sistemit nga sjellja e një numri të madh bërthamash?

Në shikim të parë, zbërthimi radioaktiv duket si një proces krejtësisht i rastësishëm dhe i paparashikueshëm. Për një bërthamë të veçantë të çfarëdo radioizotopi nuk mund të themi nëse do të zbërthehet pas një sekonde, pas një viti apo pas një kohe shumë më të gjatë. Megjithatë, kur kemi një numër të madh bërthamash radioaktive identike, sjellja e tyre e përbashkët shfaq një ligjshmëri të qartë.

Për ta studiuar këtë dukuri, fillimisht do ta vëzhgojmë „eksperimentalisht“ zbërthimin radioaktiv me ndihmën e një simulimi kompjuterik. Nëpërmjet tij do të shohim se çfarë ndodh gjatë zbërthimit të një bërthame dhe si sillen një numër i madh bërthamash me kalimin e kohës.



AKTIVITETI 1.

Aktivitet 1: Beta-zbërthimi dhe karakteri statistikor i zbërthimit (PhET)

Për këtë aktivitet do ta përdorim simulimin Beta-rrezatim (Beta decay) në platformën PhET, që mund të gjendet në faqen e mëposhtme të - internetit: <https://phet.colorado.edu/mk/simulations/beta-decay>

Pjesa 1: Një atom hidrogjeni-3 (tritiumi) – kur do të zbërthehet?

Procedura:

Hap simulimin dhe zgjidh „Një atom“.

Zgjidh bërthamën e tritiumit (Hydrogen-3, ^3H).

Vëzhgo derisa të ndodhë zbërthimi.

Kliko „Rivendos bërthamat“ (Reset nucleus) dhe përsërite vëzhgimin së pak.

Pyetje:

Çfarë ka ndryshuar në bërthamë para dhe pas zbërthimit? Shëno numrin e protoneve, numrin e neutroneve të elementit para dhe pas zbërthimit.

Menjëherë pas zbërthimit, kliko butonin e pauzës për ta parë ngjarjen. Cilat grimca emetohen nga bërthama? Përdor shenjat/legjendën në këndin e sipërm djathtas për t'i emërtuar. Për cilin lloj të zbërthimit beta bëhet fjalë?

Kujto : Pse nga tritiumi fitohet një element tjetër pas zbërthimit?

Kujto : Pse numri masiv A nuk ndryshon?

Shiko grafikun e kohës së zbërthimit në pjesën e sipërme të dritares. Gjatë çdo zbërthimi shënohet pika në boshtin kohor ku ka ndodhur zbërthimi. A ndodhin zbërthimet sipas ndonjë rendi të rregullt? A mund të parashikojmë se kur do të zbërthehet bërthama e ardhshme?

Pjesa 2: Vëzhgim – zbërthimi i disa atomeve të hidrogjenit-3

Procedura:

Zgjidh skedën „Shumëzues atome“. Para se të fillosh me aktivitetin, shtyp butonin e pauzës.

Mbushe ekranin me atome, duke klikuar „Shto“ 10“ derisa të zbrazet shporta me atome.

Kliko butonin për nisjen e simulimit dhe vëzhgo:

Si duket zbërthimi i shumë bërthamave „njëherësh“?

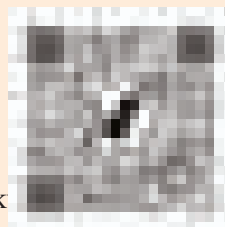
Çfarë tregon grafiku lart.

Përkrahuj: Çfarë është ndryshe nga rasti „Një atom“?

Kliko „Rivendos të gjitha bërthamat“ (Reset all nuclei). Përsërite procedurën disa herë. A vëren gjithmonë të njëjtën sjellje?

Pjesa 3. Vëzhgim – zbërthimi i disa atomeve të tritiumit

Në këtë pjesë do të kryejmë një matje për të përcaktuar se si zvogëlohet numri i atomeve të tritiumit me kalimin e kohës.



Procedura:

Rivendosni të gjitha bërthamat, vendose simulimin në pauzë dhe mbushë përsëri fushën me të gjitha atomet. Do të matim sa bërthama të tritiumit mbeten të pazbërthyera me kalimin e kohës. Numri i përgjithshëm i atomeve është paraqitur në këndin e sipërm djathtas të fushës së grafikut, menjëherë pranë shenjës ^3H . Në rreshtin e parë të tabelës shëno vlerën për $t = 0$. Në këtë simulim ajo duhet të jetë $N_0 = 99$ por edhe nëse është një vlerë tjetër, shënoje atë.

Nise simulimin dhe ndiq boshtin kohor të grafikut të sipërm. Kur grafiku të arrijë te $t = 5$, vendose simulimin në pauzë dhe shëno numrin N të bërthamave ^3H .

Vazhdo simulimin dhe përsërite procedurën $t=10,15,20,25,30$ Plotëso një tabelë të formës vijuese:

t (vit)	$N(^3\text{H})$
0	
5	
10	
...	

Vizato një grafik duke vendosur kohën t (në vite) në boshtin x , ndërsa N në boshtin y .

Pyetje:

Çfarë forme ka grafiku? (Vijë e drejtë apo lakore?)

Me cilin funksion matematikor mund të përshkruhet më mirë?

A duket se gjatë intervaleve të barabarta kohore zbërthehet i njëjti numër bërthamash apo e njëjta pjesë e bërthamave të mbetura?

Vëzhgimet nga simulimi tregojnë se zbërthimi radioaktiv ka karakter të dyfishtë. Për një bërthamë të veçantë, zbërthimi është i paparashikueshëm, përkatësisht nuk ekziston ndonjë rregull sipas të cilit mund të përcaktohet momenti i saktë i zbërthimit. Megjithatë, për një numër të madh bërthamash radioaktive identike mund të përshkruhet dhe të parashikohet se sa bërthama do të mbeten të pandryshuara me kalimin e kohës.

Radioaktiviteti është dukuri gjatë së cilës bërthamat atomike të paqëndrueshme kalojnë spontanisht, pa ndikime të jashtme, nga një gjendje me energji më të lartë në një gjendje me energji më të ulët, me ç'rast emetohen grimca dhe/ose rrezatim elektromagnetik. Karakteristikë kryesore e zbërthimit radioaktiv është **karakter i tij statistikor**: megjithëse nuk mund të parashikohet zbërthimi i një bërthame të veçantë, për një numër të madh bërthamash radioaktive identike, përkatësisht bërthama të së njëjtës substancë, mund të formulohet një ligj me të cilin llogaritet se si ndryshon numri i **bërthamave të pazbërthyera** me kalimin e kohës.

Në mënyrë eksperimentale është përcaktuar se gjatë intervaleve të barabarta kohore nuk zbërthehet i njëjti numër bërthamash, por e njëjta pjesë e bërthamave radioaktive të mbetura. Prandaj, zvogëlimi i numrit të bërthamave të pazbërthyera me kalimin e kohës nuk është linear, por ka karakter eksponencial.

Në fillim të procesit, kur ka një numër të madh bërthamash të paqëndrueshme, gjatë një intervali të caktuar kohor ndodhin shumë zbërthime. Me kalimin e kohës, numri i bërthamave të pazbërthyera zvogëlohet, prandaj gjatë intervaleve të njëjta kohore zbërthehen gjithnjë e më pak bërthama. Kjo nuk do të thotë se bërthamat „zbërthehen më ngadalë“, por se ka gjithnjë e më pak bërthama që mund të zbërthehen.

Për të përshkruar se sa shpejt zhvillohet zbërthimi radioaktiv i atomeve të një substance të caktuar, përcaktohet një madhësi karakteristike për çdo radioizotop. Për një radioizotop të caktuar, pas një kohe të caktuar, numri i bërthamave të pazbërthyera zvogëlohet gjithmonë në gjysmën e numrit fillestar, pavarësisht nga vlera e tij fillestare.

Koha gjatë së cilës numri i bërthamave të pazbërthyera zvogëlohet në gjysmën e vlerës fillestare quhet **perioda e gjysmëzbërthimit** dhe shënohet me $T_{1/2}$. Vlera e periodës së gjysmëzbërthimit është e ndryshme për substanca të ndryshme radioaktive dhe përbën një karakteristikë të tyre themelore. Për shembull, perioda

gjatë së cilës zbërthehet gjysma e bërthamave radioaktive të ^{131}I është 8,02 d (ditë), ndërsa perioda gjatë së cilës zbërthehet gjysma e bërthamave radioaktive të ^{137}Cs është 30,7 (vjet). Në çdo mostër të ^{131}I ose ^{137}Cs pas intervaleve kohore të dhëna, numri i bërthamave të pazbërthyera do të jetë sa gjysma e numrit fillestar.

Nëse me N_0 rshënojmë numrin e bërthamave të pazbërthyera në çastin fillestar ($t = 0$), atëherë pas kalimit të një periode gjysmëzbërthimi, numri i bërthamave të pazbërthyera do të jetë:

$$N(T_{1/2}) = \frac{N_0}{2}.$$

Pas kalimit të një intervali tjetër kohor me të njëjtën kohëzgjatje, përsëri zbërthehet gjysma e bërthamave të mbetura, prandaj numri i bërthamave të pazbërthyera është: $N(2T_{1/2}) = \frac{N_0}{2^2}$, Pas tri periodave të gjysmëzbërthimit: $N(3T_{1/2}) = \frac{N_0}{2^3}$ etj.

Nga këto relacione mund të përfundohet se numri i bërthamave të pazbërthyera pas kalimit të kohës t varet nga numri i periodave të kaluara të gjysmëzbërthimit dhe se zvogëlimi i numrit të bërthamave ndjek një ligjshmëri të qartë matematikore, e cila shënohet:

$$N(t) = \frac{N_0}{2^n}.$$

Eksponenti n tregon se kanë kaluar $n = \frac{t}{T_{1/2}}$ perioda të gjysmëzbërthimit. Sipas kësaj, mund ta shkruajmë Ligjin e zbërthimit radioaktiv:

$$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{t/T_{1/2}}, \text{ përkatësisht, } N(t) = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}.$$

Nëse ligjin e paraqesim grafikisht, duke vendosur në boshtin y numrin e bërthamave të pazbërthyera dhe në boshtin x kohën, do të vërejmë se lakorja në fillim bie shpejt, ndërsa më pas gjithnjë e më ngadalë.

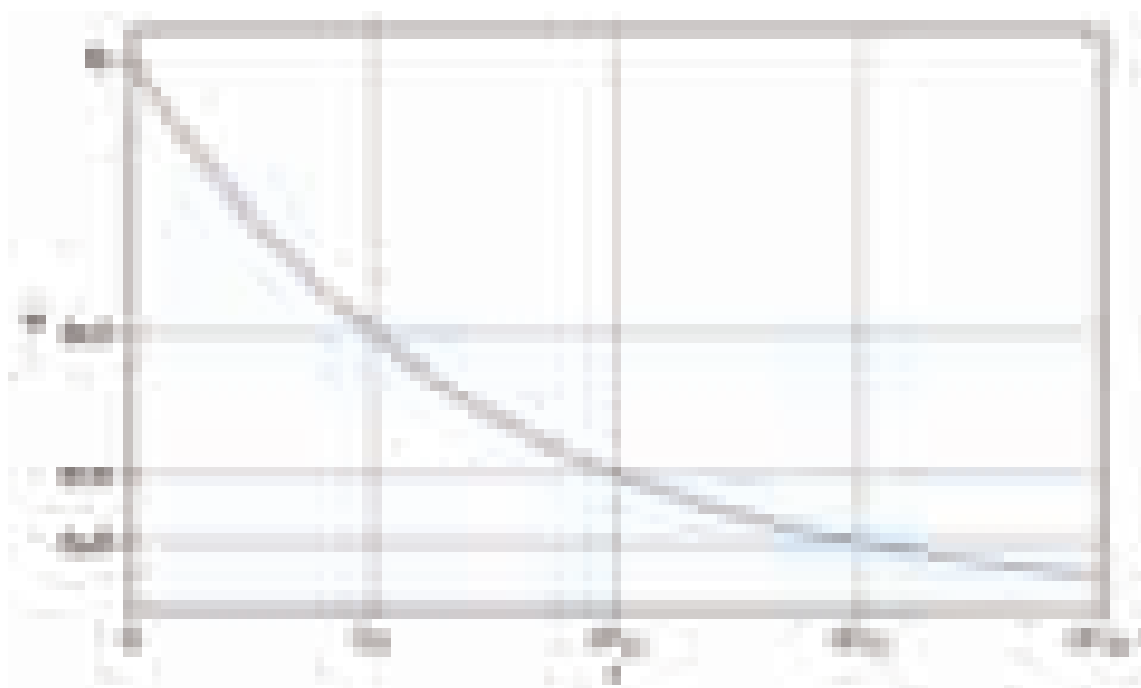


Figura 1. Varësia e numrit të bërthamave të pazbërthyera nga koha

Kjo është një nga format më të dobishme të ligjit, sepse përdor drejtpërdrejt periodat e gjysmëzbërthimit, të cilat mund të gjenden në tabela për çdo radioizotop. Ndonjëherë është më praktike që ligji të shkruhet me anë të funksionit eksponencial. Meqenëse vlen: $2 = e^{\ln 2}$, mund të shkruajmë:

$$N(t) = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = N_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}.$$

Nëse përcaktojmë madhësinë $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$, e cila quhet **konstanta e zbërthimit radioaktiv**, atëherë Ligji i zbërthimit radioaktiv merr një formë të thjeshtë:

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}.$$

Konstanta e zbërthimit radioaktiv shprehet në s^{-1} dhe përshkruan shpejtësinë me të cilën zvogëlohet numri i bërthamave të pazbërthyera. Sa më e madhe të jetë λ , aq më shpejt zvogëlohet numri i bërthamave të pazbërthyera.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Kobalti-60 ka periode gjysmëzbërthimi prej 5,27 a. Në çastin fillestar, në mostër gjenden $3,0 \cdot 10^{15}$ bërthama. Sa bërthama kanë mbetur të pazbërthyera pas 10 a dhe sa bërthama janë zbërthyer?

Të dhënat:

$$T_{1/2} = 5,27 \text{ a},$$

$$N_0 = 3,0 \cdot 10^{15}, \quad t = 10 \text{ a}$$

Kërkohet:

$$N(t) - ?, \quad \Delta N(t) - ?$$

Zgjidhje:

Fillimisht përcaktojmë numrin e bërthamave të mbetura dhe më pas numrin e bërthamave të zbërthyera. Numri i bërthamave që nuk janë zbërthyer është: $N(t) = N_0 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} = 8,1 \cdot 10^{14}$. Sipas kësaj, numri i bërthamave të zbërthyera është: $\Delta N(t) = N_0 - N(t) = 2,19 \cdot 10^{15}$.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Gjatë punës praktike me substanca radioaktive, shpesh, në vend të numrit të bërthamave të pazbërthyera, dihet masa e substancës radioaktive që ka mbetur pas një periudhe të caktuar kohore. Masa fillestare e substancës radioaktive është 2 g. Konstanta e zbërthimit radioaktiv të saj është $\lambda = 0,023 \text{ a}^{-1}$. Përcaktoni masën e substancës radioaktive pas 20 vjetësh.

Të dhënat:

$$m_0 = 2,0 \text{ g},$$

$$\lambda = 0,023 \text{ a}^{-1},$$

$$t = 20 \text{ a}$$

Të dhënat:

$$m(20 \text{ a}) - ?$$

Zgjidhje:

Numri i bërthamave radioaktive N në një masë të caktuar m të një substance lidhet me masën molare M . Numri i bërthamave radioaktive N në një masë të caktuar m të një substance lidhet me masën molare M dhe me numrin e Avogadros N_A nëpërmjet relacionit: $N = \frac{m}{M} N_A$. Në fillim të procesit, për masën m_0 vlen:

$N_0 = \frac{m_0}{M} N_A$. Me kalimin e kohës, numri i bërthamave të pazbërthyera ndryshon sipas Ligjit të zbërthimit radioaktiv: $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$. Nëse dy barazimet e para i zëvendësojmë në të tretin dhe i thjeshtojmë të gjitha madhësitë e njëjta, fitojmë se masa zvogëlohet sipas të njëjtit ligj $m(t) = m_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow m(20 \text{ a}) = 1,26 \text{ g}$.

Aktiviteti i substancës radioaktive

Gjatë përdorimit të substancave radioaktive në mjekësi, në industri dhe në mbrojtjen nga rrezatimi, shpesh është më e rëndësishme të njihet shpejtësia me të cilën zbërthehen bërthamat, përkatësisht numri i zbërthimeve që ndodhin në njësi të kohës. Madhësia që përshkruan shpejtësinë e zbërthimit të bërthamave quhet aktivitet dhe shënohet me A . Aktiviteti mund të llogaritet sipas barazimit :

$$A(t) = \lambda N(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$$

Madhësia $A_0 = \lambda N_0$ quhet aktiviteti fillestar i substancës radioaktive. Sipas kësaj, për aktivitetin kemi:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}.$$

Nga ky barazim shihet se aktiviteti i substancës radioaktive, përkatësisht shpejtësia e zbërthimit, **zvogëlohet në mënyrë eksponenciale me kalimin e kohës**, njësoj si numri i bërthamave të pazbërthyer (figura 2).

Njësia matëse e aktivitetit është bekereli (Bq). Aktiviteti prej një bekereli është i barabartë me zbërthimin e një bërthame në një sekondë, përkatësisht $1\text{Bq} = 1\text{s}^{-1}$.

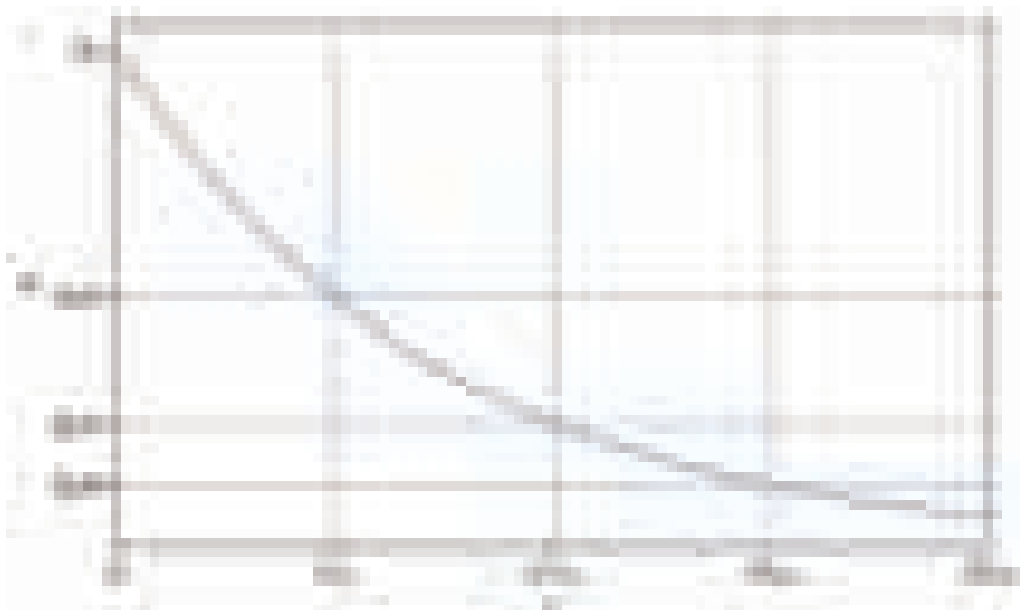


Figura 2. Zvogëlimi eksponencial i aktivitetit të substancës radioaktive me kalimin e kohës



SHENBULL I ZGJIDHUR 3.

Llogarit aktivitetin e $2,0 \text{ mg } ^{137}\text{Cs}$ pas 100 vjetësh nga krijimi i tij. Dihet se perioda e tij e gjysmëzbërthimit është 30,17 a, masa molare është 137 g/mol, ndërsa konstanta e Avogadros është $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Të dhënat:

$$m = 2,0 \text{ mg}, T_{1/2} = 30,17 \text{ a} = (30,17 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) \text{ s} = 9,5 \cdot 10^8 \text{ s},$$

$$M = 137 \text{ g/mol}, N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$t = 100 \text{ a} = (100 \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600) \text{ s} = 3,15 \cdot 10^9 \text{ s}$$

Kërkohet:

$$A - ?$$

Zgjidhje:

Aktiviteti fillestar i mostrës është:

$$A_0 = \lambda N_0 = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} \cdot N_A = 6,40 \cdot 10^6 \text{ Bq.}$$

Aktiviteti pas 100 vjetësh është: $A(t) = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow A(100 \text{ a}) = 6,43 \cdot 10^5 \text{ Bq} = 0,64 \text{ MBq.}$

Përdorimi i radioizotopeve në mjekësi

Në mjekësi, Ligji i zbërthimit radioaktiv ka vlerë të drejtpërdrejtë praktike sepse mundëson planifikimin e saktë të aktivitetit dhe të dinamikës kohore të radiofarmaceutikëve. Kur pacientit i administrohet një izotop radioaktiv, është thelbësore të dihet paraprakisht se çfarë aktiviteti do të ketë preparati në çastin e përdorimit. Kjo është veçanërisht e rëndësishme për organizimin e furnizimit, transportit dhe përdorimit, sidomos tek izotopet me periode të shkurtër gjysmëzbërthimi.

Në mjekësinë bërthamore përdoret shpesh tekneociumi-99 për ekzaminime scintigrafike. Perioda e tij relativisht e shkurtër e gjysmëzbërthimit mundëson fitimin e një imazhi të qartë diagnostikues dhe njëkohësisht zvogëlimin e shpejtë të rrezatimit të panevojshëm pas përfundimit të ekzaminimit. Për qëllime terapeutike përdoret, për shembull, jodi-131 për trajtimin e sëmundjeve të gjendrës tiroide, ndërsa llogaritjet e aktivitetit përdoren për vlerësimin e dozës dhe të kohëzgjatjes së veprimit. Zvogëlimi eksponencial i aktivitetit përcakton periudhën gjatë së cilës pacienti duhet t'i nënshtrohet një regjimi të veçantë, si dhe çastin kur aktiviteti në organizëm do të ulet në nivele të sigurta.

Përdorimi i radioizotopeve në arkeologji

Në arkeologji, Ligji i zbërthimit radioaktiv përbën bazën e metodave të datimit, përkatësisht të përcaktimit të vjetërsisë së gjetjeve arkeologjike. Shembulli më i njohur është datimi me karbon-14, i cili zbatohet për materiale organike, si druri, kockat ose tekstilet. Ky radioizotop i karbonit krijohet në atmosferë nëpërmjet reaksioneve bërthamore, ndërsa bimët e lidhin atë gjatë formimit të sheqernave, së bashku me karbonin e qëndrueshëm ^{12}C .

Përderisa organizmi është i gjallë, nëpërmjet shkëmbimit me mjedisin e jashtëm, në të ruhet një raport afërsisht konstant ndërmjet karbonit-14 dhe karbonit të qëndrueshëm-12. Pas vdekjes së organizmit, ky shkëmbim ndërpritet, ndërsa numri i bërthamave të karbonit-14 fillon të zvogëlohet sipas Ligjit eksponencial të zbërthimit radioaktiv. Duke matur aktivitetin e mbetur të karbonit-14 në mostër, i cili është proporcional me numrin e bërthamave të pazbërthyera, mund të vlerësohet koha që ka kaluar nga çasti i vdekjes së organizmit.

Kjo metodë mundëson përcaktimin e vjetërsisë së objekteve organike dhe rindërtimin e kronologjisë së kulturave dhe të vendbanimeve. Rezultatet më të mira përfitohen për objekte me vjetërsi deri në afërsisht dy perioda të gjysmëzbërthimit të karbonit-14, e cila është 5730 vjet.

Përdorimi i radioizotopeve në ekologji

Në ekologji dhe gjatë monitorimit të mjedisit jetësor, Ligji i zbërthimit radioaktiv përdoret për vlerësimin e dinamikës kohore të ndotjes radioaktive dhe për ndjekjen e transportit dhe të grumbullimit të substancave në tokë, në ujë dhe në organizmat e gjallë. Kur në mjedis shfaqet një radionuklid, aktiviteti i tij zvogëlohet në mënyrë eksponenciale me kalimin e kohës, gjë që mundëson vlerësimin e kohëzgjatjes së rrezikut dhe të zvogëlimit të tij gradual.

Pas aksidenteve radiologjike, si ato në Çernobil (1986) dhe në Fukushima (2011), radioizotope të ndryshme janë përhapur në sipërfaqe të mëdha. Radioizotopet me periode të shkurtër gjysmëzbërthimi zhduken shpejt nga mjedisi, por mund të kenë efekte të fuqishme afatshkurtra, ndërsa izotopet me periode

më të gjatë gjysmëzbërthimi mbeten të pranishme për dhjetëra vjet dhe paraqesin rrezik afatgjatë. Duke matur aktivitetin fillestar dhe duke përdorur Ligjin e zvogëlimit eksponencial, mund të vlerësohet aktiviteti pas një, pesë ose dhjetë vjetësh dhe të merren vendime për rehabilitimin e mjedisit, kufizimin e përdorimit të burimeve ose mbrojtjen e popullsisë. Përveç kësaj, në studimin e proceseve natyrore në lumenj, liqene, ujëra nëntokësore, toka dhe sedimente përdoren radioizotope natyrore, si radoni, plumbi-210 dhe beriliumi-7. Ato shërbejnë si „gjurmues natyrorë“, sepse aktiviteti i tyre mund të matet dhe sjellja e tyre në mjedis mund të ndiqet. Ato u japin përgjigje pyetjeve: sa kohë qëndron uji në një vend, sa shpejt përzihen shtresat ujore, sa shpejt depozitohet materiali në fund ose nga ka ardhur një material dhe në cilin drejtim lëviz. Për shembull, prania e radonit në ujë mund të tregojë prurjen e ujërave nëntokësore ose kontaktin me shkëmbinjtë, ndërsa shpërndarja e plumbit-210 në sedimente mundëson vlerësimin e shpejtësisë së depozitimit. Beriliumi-7, për shkak të periodës së tij të shkurtër të gjysmëzbërthimit, tregon procese shumë të fundit, si depozitimi ose erozioni i kohëve të fundit.



AKTIVITETI 2.

Simulimi i zbërthimit radioaktiv me shkumën e birrës pa alkool

Ligji i zbërthimit radioaktiv mund të ilustruhet me një eksperiment të thjeshtë dhe të sigurt, gjatë të cilit vëzhgohet zvogëlimi i lartësisë së shkumës së birrës pa alkool në një menzurë. Në këtë analogji, çdo fluskë e shkumës mund të konsiderohet si një bërthamë radioaktive. Megjithatë nuk mund të parashikohet çasti kur do të zhduket secila fluskë veçmas, mund të përshkruhet sjellja e shkumës në tërësi, gjë që është karakteristikë thelbësore edhe e zbërthimit radioaktiv.

Gjatë matjeve, menzura nuk duhet të tundet dhe në të nuk duhet të shtohet asgjë. Ashtu si gjatë zbërthimit radioaktiv, procesi duhet të zhvillohet spontanisht, pa ndikim të jashtëm

Procedura:

Merr një menzurë prej 500 ml dhe derdh në të birrë pa alkool, në mënyrë që të krijohet një shkumë qartësisht e dukshme.

Menjëherë pas derdhjes, mat lartësinë fillestare të shkumës dhe shënoje atë.

Në të njëjtin çast, ndiz kronometrin.

Më pas, në intervale të barabarta kohore, për shembull çdo 10 s ose 15 s, mat përsëri lartësinë e shkumës dhe shënoji vlerat e përfutuara në një tabelë.

Analiza

Nga të dhënat e mbledhura vizato grafikun e varësisë së lartësisë së shkumës nga koha. Do të vëresh se lartësia e shkumës zvogëlohet gjithnjë e më ngadalë me kalimin e kohës, ngjashëm me mënyrën se si zvogëlohet numri i bërthamave radioaktive të pazbërthyera të radioizotopet.

Nga grafiku përpiku të përcaktosh kohën gjatë të cilës lartësia e shkumës zvogëlohet në gjysmën e vlerës fillestare. Kjo kohë është analoge me periodën e gjysmëzbërthimit të substancave radioaktive.

Përfundimi

Me këtë eksperiment të thjeshtë mund të tregohet se zbërthimi radioaktiv është një proces statistikor, i cili nuk mund të parashikohet për një bërthamë të veçantë, por mund të përshkruhet me sukses për një numër të madh bërthamash. Në këtë mënyrë, Ligji i zbërthimit radioaktiv modelohet qartë dhe në mënyrë të sigurt, pa përdorur materiale të vërteta radioaktive.



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse zbërthimi radioaktiv konsiderohet proces statistikor?
2. Përkufizo periodën e gjysmëzbërthimit. Çfarë do të thotë „gjysma e bërthamave të mbetura“?
3. Çfarë do të ndodhë me lakoren në grafikun e figurës 1 nëse perioda e gjysmëzbërthimit rritet dy herë?
4. Në një mostër, numri fillestar i bërthamave është $3,0 \cdot 10^{18}$, ndërsa konstanta e zbërthimit radioaktiv është $1,5 \cdot 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.
 - a) Llogarit aktivitetin fillestar.
 - b) Llogarit aktivitetin pas 90 ditësh. (Zgjidhja a) $4,5 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$, b) $1,4 \cdot 10^{11} \text{ Bq}$)
5. Në një mostër arkeologjike është matur aktiviteti ^{14}C i cili është $A = 0,62 A_0$ (ku A_0 është aktiviteti i materialit „të gjallë“. Nëse perioda e gjysmëzbërthimit është , vlerëso vjetërsinë e mostrës. (Zgjidhja: 3950 a)

Në ekologji monitorohet një radionuklid me periode gjysmëzbërthimi prej 30,1 a. Në vitin 2026, në tokë është matur aktiviteti $A_0 = 12 \text{ kBq/kg}$. Çfarë aktiviteti pritet të ketë toka në vitin 2046 vetëm si pasojë e zbërthimit radioaktiv? Të shpërfilllet humbja e materialit radioaktiv nga toka si pasojë e shpëlarjes së saj. (Zgjidhja: $7,6 \text{ kBq/kg}$)

4.9. Vargjet radioaktive

Në mësimin e mëparshëm shqyrtuam Ligjin e zbërthimit radioaktiv për zbërthimin e thjeshtë radioaktiv, përkatësisht rastin kur bërthama radioaktive zbërthehet dhe bërthama e sapoformuar është e qëndrueshme. Megjithatë, në natyrë ekzistojnë shumë bërthama radioaktive tek të cilat zbërthimi nuk përfundon me një hap të vetëm. Pas zbërthimit, edhe bërthamat e sapoformuara janë radioaktive dhe zbërthehen në bërthama të reja. Procesi zhvillohet si një varg zbërthimesh radioaktive të njëpasnjëshme, derisa të fitohet një bërthamë e qëndrueshme dhe quhet zbërthim radioaktiv i përbërë.

Zbërthimi radioaktiv i përbërë përbëhet nga një varg zbërthimesh që përfundojnë me një bërthamë të qëndrueshme. Në vargjet e tilla hasen shpesh bërthama radioaktive me perioda shumë të ndryshme gjysmëzbërthimi: disa kanë perioda prej miliarda vjetësh, ($T_{1/2}(^{238}_{92}\text{U}) = 4,47 \cdot 10^9 \text{ a}$), ndërsa të tjerat zbërthehen për një pjesë të sekondës ($T_{1/2}(^{214}_{84}\text{Po}) = 1,643 \cdot 10^{-4} \text{ s}$). Procesi përfundon kur përftohet një bërthamë e qëndrueshme.

Në figurën 1 është paraqitur një shembull i thjeshtë i zbërthimit radioaktiv të përbërë, në të cilin marrin pjesë tri bërthama. Bërthama e uraniumit -238 ($^{238}_{92}\text{U}$) është bërthama-prind, e cila nëpërmjet zbërthimit alfa shndërrohet në bërthamë të toriumit -234 ($^{234}_{90}\text{Th}$). Edhe bërthama e toriumit-234 është radioaktive dhe zbërthehet nëpërmjet zbërthimit beta, gjatë të cilit fitohen bërthama e protaktiniumit -234 ($^{234}_{91}\text{Pa}$), një elektron dhe një antineutrino $\bar{\nu}$. Në këtë reaksion, bërthama e ^{234}Pa , është gjithashtu bërthamë-pasardhëse.

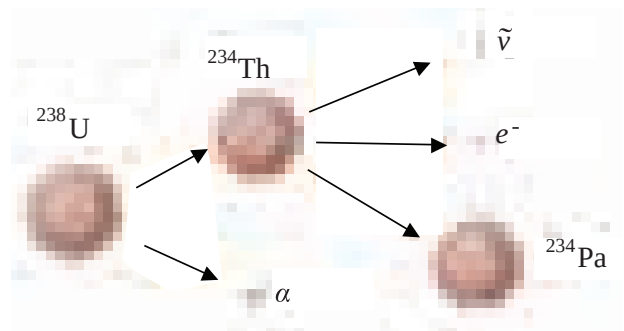


Figura 1. Vargu i zbërthimeve të uraniumit-238

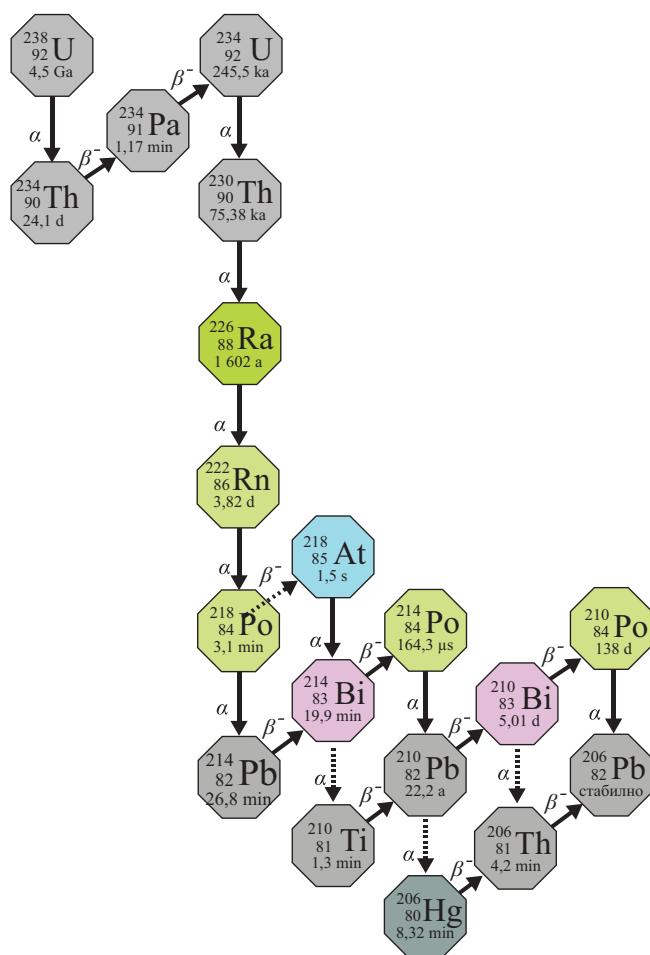


Figura 2. Vargu radioaktiv nëpërmjet të cilit nga ^{238}U fitohet bërthama e qëndrueshme e ^{206}Pb

radioaktiv të përbërë, numri i masës ndryshon gjithmonë me hapa prej 4, ndërsa bërthamat e një vargu radioaktiv mbeten në të njëjtën seri të numrit të masës derisa të fitohet një bërthamë e qëndrueshme. Çdo radioizotop i përket një dhe vetëm një vargu radioaktiv. Katër vargjet radioaktive janë paraqitur në tabelën 1. Për çdo varg jepen radioizotopi fillestar, perioda e tij e gjysmëzbërthimit, bërthama-pasardhëse e qëndrueshme që fitohet nga zbërthimi i bërthamave-pasardhëse të atij vargu dhe mënyra se si ndryshojnë numrat e masës së bërthamave-pasardhëse në secilin varg.

Vargu radioaktiv	Bërthama-prind	Perioda e gjysmëzbërthimit të bërthamës-prind në vite (a)	Izotopi i qëndrueshëm me të cilin përfundon zbërthimi i bërthamave-pasardhëse	Shënimi i numrave të masës (A) të bërthamave-pasardhëse të vargut
toriumit	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,41 \cdot 10^{10}$	$^{208}_{82}\text{Pb}$	$4n$
neptuniumit	$^{238}_{93}\text{Np}$	$2,14 \cdot 10^6$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$4n+1$
uraniumit	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,47 \cdot 10^9$	$^{206}_{82}\text{Pb}$	$4n+2$
aktiniumit	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,04 \cdot 10^8$	$^{207}_{83}\text{Pb}$	$4n+3$

B Në këtë varg, reaksionet nuk përfundojnë këtu. Edhe $^{234}_{91}\text{Pa}$, është radioaktiv. I gjithë vargu kalon nëpër 14 bërthama-pasardhëse të ndryshme. Ai fillon me izotopin ^{238}U dhe përfundon me izotopin e qëndrueshëm të plumbit - $^{206}_{82}\text{Pb}$ siç është paraqitur në figurën 2.

Vargjet radioaktive (familjet radioaktive)

Kur zbërthimi radioaktiv i përbërë ndodh te radioizotopet natyrore, ato grupohen në të ashtuquajturat vargje radioaktive. Pothuajse të gjitha elementet radioaktive natyrore u përkasin katër vargjeve radioaktive. Arsyeja pse ekzistojnë pikërisht katër vargje lidhet me mënyrën se si zbërthimet α - dhe β^- -i ndryshojnë numrat e masës dhe numrat atomikë të bërthamave të sapoformuara.

Gjatë zbërthimit α -numri i masës A i bërthamës së sapoformuar zvogëlohet për 4, ndërsa numri atomik Z zvogëlohet për 2.

Gjatë zbërthimit β^- -numri i masës A i bërthamës së sapoformuar mbetet i njëjtë me numrin e masës së bërthamës-prind, ndërsa numri atomik Z rritet për 1.

Prandaj, gjatë zbërthimit

Nga katër vargjet radioaktive, sot në natyrë mund të gjenden radioizotope vetëm nga tri prej tyre. Për shkak të periodës së shkurtër të gjysmëzbërthimit të ^{238}Np dhe të të gjitha bërthamave të tij pasardhëse, krahasuar me vjetërsinë e Tokës, sot asnjë prej këtyre radioizotopeve nuk mund të gjendet në natyrë. Shkencëtarët e kanë krijuar artificialisht këtë varg dhe i kanë studiuar radioizotopet që fitohen gjatë zbërthimeve në të. Shënimi i numrave të masës, i dhënë në kolonën e fundit të tabelës, na ndihmon të përcaktojmë se cilit varg i përket një radioizotop i caktuar, siç është paraqitur në shembullin e zgjidhur 1.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Gjatë analizimit të një mostre xeherori natyror janë zbuluar tri radioizotopet vijuese. a) $^{226}_{88}\text{Ra}$ b) $^{228}_{90}\text{Th}$ c) $^{219}_{86}\text{Rn}$. Përcakto se nga cila familje radioaktive e ka prejardhjen secili.

Zgjidhje:

Për të përcaktuar se cilit varg radioaktiv i përket secili izotop, duhet të përcaktojmë se në çfarë forme mund të shkruhet numri i tij i masës. Nëse numri i masës mund të shkruhet në formën $4n$, atëherë radioizotopi i përket vargut të toriumit. Nëse numri i masës mund të shkruhet në formën $4n + 1$, atëherë i përket vargut të neptuniumit. Nëse numri i masës mund të shkruhet në formën $4n + 2$, atëherë radioizotopi i përket vargut të uranumit. Në fund, nëse numri i masës mund të shkruhet në formën $4n + 3$, atëherë radioizotopi i përket vargut të aktiniumit.

a) Numri i masës së $^{226}_{88}\text{Ra}$ mund të shkruhet $226 = 4 \cdot 56 + 2$. Vërejmë se numri i tij i masës mund të shkruhet në formën $4n + 2$, që do të thotë se ky radioizotop i përket vargut të uranumit.

b) Numri i masës së $^{228}_{90}\text{Th}$ mund të shkruhet $228 = 4 \cdot 57$. Numri i masës mund të shkruhet në formën $4n$, që do të thotë se ky radioizotop i përket vargut të toriumit.

c) Numri i masës së $^{219}_{86}\text{Rn}$ mund të shkruhet $219 = 4 \cdot 54 + 3$. Numri i masës mund të shkruhet në formën $4n + 3$, prandaj ky radioizotop i përket vargut të aktiniumit.

Ligji i zbërthimit radioaktiv të përbërë

Për çdo bërthamë radioaktive të vargut, në mënyrë të pavarur, vlen Ligji i zbërthimit radioaktiv, njësoj si te zbërthimi i thjeshtë radioaktiv. Aktiviteti i çdo radioizotopi të vargut ndryshon në mënyrë eksponenciale me kalimin e kohës, por këtu aktiviteti i çdo bërthame-pasardhëse gjatë një intervali të caktuar kohor fillimisht rritet dhe më pas zvogëlohet. Çdo radioizotop i familjes radioaktive zbërthehet në mënyrë të pavarur, me parametrat e vet karakteristikë:

- periodën e vet të gjysmëzbërthimit;
- karakterin statistikor të zbërthimit, të përshkruar me ligjin eksponencial $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$.

Te vargjet radioaktive, numri i bërthamave të pazbërthyera të një radioizotopi-pasardhëse të caktuar ndryshon si rezultat i dy proceseve. Gjatë të njëjtit interval kohor, një pjesë e bërthamave-pasardhëse zbërthehen, por nga zbërthimi i bërthamave-prind krijohen bërthama të reja pasardhëse. Pra, numri „fillestar“ i bërthamave-pasardhëse ndryshon me kalimin e kohës dhe varet njëkohësisht nga:

- zbërthimet e bërthamave-prind;
- zbërthimet e vetë bërthamave-pasardhëse.

Ndryshimi i numrit N të bërthamave-prind dhe të bërthamave-pasardhëse me kalimin e kohës t , në rastin kur edhe bërthama-pasardhëse është radioaktive, mund të paraqitet grafikisht (figura 3). Numri i bërthamave-prind zvogëlohet me kalimin e kohës sipas Ligjit të zbërthimit radioaktiv. Ndërkaq, numri i bërthamave-pasardhëse në fillim rritet, sepse ato krijohen si rezultat i zbërthimit të bërthamave-prind. Pas një kohe të caktuar, numri i bërthamave-pasardhëse arrin vlerën maksimale dhe më pas fillon të zvogëlohet. Arsyeja është se në atë çast numri i zbërthimeve të bërthamave-pasardhëse është më i madh se numri i zbërthimeve të bërthamave-prind që krijojnë bërthama të reja pasardhëse.

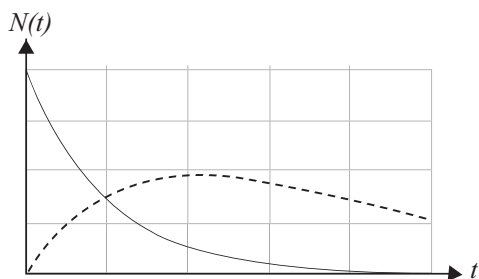


Figura 3. Numri i bërthamave-prind (vija e plotë) dhe i bërthamave-pasardhëse (vija e ndërprerë) me kalimin e kohës.



PYETJE DHE DETYRA

Cili është dallimi ndërmjet zbërthimit radioaktiv të thjeshtë dhe atij të përbërë?

Pse bërthama e toriumit-234 është njëkohësisht bërthamë-pasardhëse dhe bërthamë-prind?

Pse gjatë zbërthimit radioaktiv të përbërë numri i masës ndryshon me hapa prej 4?

Si do të dukej lakorja e bërthamave-pasardhëse nëse perioda e gjysmëzbërthimit të bërthamës-prind do të ishte shumë e shkurtër?

Përcakto se cilave vargje radioaktive u përket radioizotopet vijuese: ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{219}Rn , ^{237}Np , ^{233}Pa , ^{210}Po , ^{228}Ac , ^{223}Ra .

4.10. Energjia e lidhjes së bërthamës

Bërthama atomike përbëhet nga protone dhe neutrone, me përjashtim të bërthamës së ^1_1H

e cila nuk përmban neutrone. Kur këto grimca shqyrtohen si të lira, secila prej tyre ka një masë të caktuar. Prandaj, është e natyrshme të pritët që masa e bërthamës atomike të jetë e barabartë me shumën e masave të protoneve dhe të neutroneve nga të cilat përbëhet. Megjithatë, në mënyrë eksperimentale është përcaktuar se nuk është kështu: masa e bërthamës është më e vogël se shuma e masave të protoneve dhe të neutroneve të palidhura.

Pyetja se pse „pjesët kanë masë më të madhe se tërësia“ na çon te një ide e rëndësishme fizike: parimi i Ajnshtajnit për ekuivalencën ndërmjet masës dhe energjisë. Një dukuri të tillë e kemi hasur edhe në fizikën atomike. Kur një elektron i lirë lidhet me një proton për të formuar një atom hidrogjeni, ai duhet të emetojë energji në formën e një fotoni. Vlera e energjisë së emetuar varet nga niveli energjetik në të cilin lidhet elektroni. Nëse elektroni lidhet në nivelin më të ulët energjetik, ai emeton një kuant me energji $E_\gamma = 13,6 \text{ eV}$. Masa e atomit të hidrogjenit është më e vogël se masa e një protoni të lirë dhe e një elektroni të lirë, në përputhje me parimin e Ajnshtajnit për $\Delta m_a = E_\gamma / c^2$. I njëjti përfundim vlen edhe për formimin e bërthamës nga nukleonet e lira: kur formohet një gjendje e lidhur, sistemi kalon në një gjendje më të qëndrueshme. Kjo gjendje ka energji më të ulët. Energjia e tepërt duhet të çlirohet dhe, si rezultat i çlirimit të saj, masa e bërthamës është më e vogël se masa e nukleoneve të palidhura.

Energjia që çlirohet nga sistemi gjatë formimit të bërthamës quhet energjia e lidhjes së bërthamës. Çlirimi i kësaj energjie u mundëson bërthamave të ekzistojnë si sisteme kompakte dhe të qëndrueshme, pavarësisht forcës së fuqishme elektrostатike dëbuese që vepron ndërmjet protoneve. Po kjo energji duhet t'i jepet bërthamës që ajo të zbërthehet plotësisht në protone dhe neutrone të lira.

Defekti i masës Δm është ndryshimi ndërmjet shumës së masave të nukleoneve të lira dhe masës së bërthamës që ato formojnë. Për një bërthamë me Z protone dhe N neutrone, me numër mase A , defekti i masës llogaritet me barazimin: $\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_{j,A,Z}$.

ku m_p është masa e protonit m_n është masa e neutronit, ndërsa $m_{j,A,Z}$ është masa e bërthamës.

Defekti i masës paraqet masën e protoneve dhe të neutroneve që është shndërruar në energji gjatë formimit të bërthamës. Lidhjen ndërmjet defektit të masës dhe energjisë së lidhjes së bërthamës mund ta shkruajmë me parimin e Ajnshtajnit për ekuivalencën ndërmjet masës dhe energjisë, ku c është shpejtësia e dritës në vakuum.

Në rastin konkret të bërthamës atomike, energjia e lidhjes shënohet me $B(A, Z)$ ose $B\left({}_Z^AX\right)$ dhe llogaritet nëpërmjet defektit të masës me relacionin:

$$B(A, Z) = \Delta m c^2 = (Zm_p + Nm_n - m_{j,A,Z})c^2,$$

Nëse masat në këtë barazim shprehen në kilogramë, energjia e lidhjes përftohet në xhul (J). Në shkencë, masat e bërthamave ose të atomeve shprehen më shpesh në njësi të unifikuara të masës atomike u, ku vlen:

$$1u = 931,49 \frac{\text{MeV}}{c^2}.$$

Në këtë mënyrë, energjia e lidhjes shprehet lehtësisht në MeV.

Në fizikën bërthamore, masat e bërthamave zakonisht nuk jepen drejtpërdrejt, por njihen masat e atomeve. Prandaj, gjatë llogaritjes së energjisë së lidhjes përdoren shpesh masat atomike.

Shenja $m_a({}^1\text{H})$ tregon masën atomike të atomit të hidrogjenit-1, i cili përbëhet nga një proton dhe një elektron. Masa e protonit mund të shprehet përafërsisht si ndryshimi ndërmjet masës atomike të hidrogjenit dhe masës së elektronit. Energjia e lidhjes së elektronit shpërfilllet, sepse është shumë e vogël në krahasim me energjitë bërthamore. Në mënyrë të ngjashme, shenja $m_{a,A,Z}$ tregon masën atomike të atomit me numër mase A dhe me numër atomik Z, duke përfshirë edhe Z elektrone. Masa e bërthamës së atomit me Z protone dhe A nukleone mund të merret si ndryshimi ndërmjet masës së atomit dhe masave të elektroneve, duke shpërfillur përsëri energjinë e lidhjes së elektroneve. Meqenëse elektronet përfshihen si në masën atomike të hidrogjenit, ashtu edhe në masën atomike të atomit të shqyrtuar, kontributi i tyre anulohet gjatë zbritjes. Në këtë mënyrë, nga barazimi i mësipërm për energjinë e lidhjes së bërthamës mund të shënohet:

$$B(A, Z) = (Z m_a({}^1\text{H}) + N m_n - m_{a,A,Z})c^2.$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Llogarit defektin e masës dhe energjinë e lidhjes së deuteriumit ${}_1^2\text{H}$.

Të dhënat: $m_a({}^1\text{H}) = 1,007825u$ $m_n = 1,008665u$ $m_a({}^2\text{H}) = 2,014102u$ $1u = 931,49 \text{ MeV} / c^2$.	Zgjidhje: Deuteriumi ka $Z = 1$ proton dhe $N = 1$ neutron. Kur përdorim masat atomike, defekti i masës llogaritet si: $\Delta m = m_a({}^1\text{H}) + m_n - m_a({}^2\text{H}).$ Pas zëvendësimit: $\Delta m = (1,007825 + 1,008665 - 2,014102)u = 0,002388u.$ Atëherë, energjia e lidhjes është: $B({}_1^2\text{H}) = \Delta m c^2 = 2,224 \text{ MeV}.$ Pra, gjatë formimit të deuteriumit çlirohet energji prej afërsisht 2,224 MeV, ndërsa po aq energji duhet t'i jepet bërthamës që ajo të zbërthehet plotësisht në një proton dhe një neutron.
Kërkohet: $\Delta m - ?$, $B({}_1^2\text{H}) - ?$.	

Energjia specifike e lidhjes

Energjia specifike e lidhjes ε (energjia e lidhjes për nukleon) është energjia e përgjithshme e lidhjes së bërthamës, e pjesëtuar me numrin e nukleoneve A:

$$\varepsilon = \frac{B(A, Z)}{A}.$$

Energjia specifike e lidhjes është masë e energjisë mesatare që duhet t'i jepet bërthamës për të shkëputur një nukleon prej saj. Them i „energji mesatare“, sepse energjia e nevojshme për shkëputjen e një protoni dhe të një neutroni nuk është domosdoshmërisht e njëjtë. Meqenëse energjia e lidhjes zakonisht shprehet në MeV, edhe ϵ shprehet në MeV, ndërsa A është madhësi pa dimensione. Energjia specifike e lidhjes mundëson krahasimin e qëndrueshmërisë së bërthamave me madhësi të ndryshme. Zakonisht, sa më e madhe të jetë energjia specifike e lidhjes, aq më fort janë të lidhura nukleonet në bërthamë dhe aq më e qëndrueshme është ajo.

Në figurën 1 është paraqitur varësia e energjisë specifike të lidhjes ϵ nga numri i masës A . Lakorja fillimisht rritet, me luhatje të vogla te bërthamat e lehta, arrin maksimumin te bërthamat me masë mesatare dhe më pas zvogëlohet ngadalë te bërthamat e rënda.

Bërthamat e lehta, përkatësisht bërthamat me numër të vogël mase A , kanë energji specifike relativisht të vogël të lidhjes ϵ . Kjo do të thotë se te bërthamat e lehta nukleonet janë mesatarisht më dobët të lidhura. Me rritjen e numrit të masës, energjia specifike e lidhjes rritet shpejt, gjë që tregon se shtimi i nukleoneve në bërthamë e rrit qëndrueshmërinë e saj.

Megjithatë, kjo varësi nuk është plotësisht e vazhdueshme. Në lakore vërehen kulme, që do të thotë se bërthamat me këta numra mase janë dukshëm më të qëndrueshme se bërthamat fqinje në Sistemin periodik. Kulmi i parë i theksuar shfaqet te bërthama e ${}^4_2\text{He}$. Kjo shpjegon pse gjatë zbërthimeve radioaktive bërthamat emetojnë shpesh grimca alfa dhe jo ndonjë bërthamë tjetër: gjatë formimit të tyre çlirohet energji relativisht e madhe, gjë që e lehtëson emetimin e tyre.

Me rritjen e mëtejshme të numrit të masës, energjia specifike e lidhjes vazhdon të rritet deri te bërthamat me masë mesatare. Më pas rritja ngadalësohet dhe arrihet maksimumi te bërthama e ${}^{62}_{28}\text{Ni}$. Me rritjen e mëtejshme të numrit të masës, energjia specifike e lidhjes vazhdon të rritet deri te bërthamat me masë mesatare. Më pas rritja ngadalësohet dhe arrihet maksimumi te bërthama e

Pas bërthamës së ${}^{62}_{28}\text{Ni}$, me rritjen e mëtejshme të numrit të masës, energjia specifike e lidhjes zvogëlohet gradualisht. Kjo do të thotë se, megjithëse energjia e përgjithshme e lidhjes rritet, energjia e lidhjes për nukleon zvogëlohet. Kjo tregon se forca e fortë bërthamore ka rreze të shkurtër veprimi, përkatësisht vepron kryesisht ndërmjet nukleoneve fqinje. Te bërthamat më të rënda, rëndësi shtesë ka edhe forca elektrostатike dëbuese ndërmjet protoneve, e cila rritet me numrin atomik Z (ndërsa forca e përgjithshme e Kulonit rritet në përpjesëtim me $\sim Z^2$) dhe e zvogëlon qëndrueshmërinë e bërthamës.

Nga forma e grafikut të energjisë specifike të lidhjes rrjedhin edhe kushtet për çlirimin e energjisë gjatë proceseve bërthamore, siç janë fuzioni dhe fisioni, të cilat do të shqyrtohen në mësimet vijuese.

Energjia specifike e lidhjes është tregues praktik i qëndrueshmërisë së bërthamave, por nuk është faktori i vetëm që ndikon në qëndrueshmërinë e tyre. Megjithëse energjia specifike më e madhe e lidhjes zakonisht nënkupton edhe qëndrueshmëri më të madhe, qëndrueshmëria reale varet edhe nga raporti N/Z , probabiliteti që bërthama t'i nënshtrohet zbërthimit radioaktiv, si dhe nga efektet strukturore që lidhen me strukturën shtesore të bërthamës. Prandaj, grafiku i energjisë specifike të lidhjes paraqet një prirje të përgjithshme dhe jo

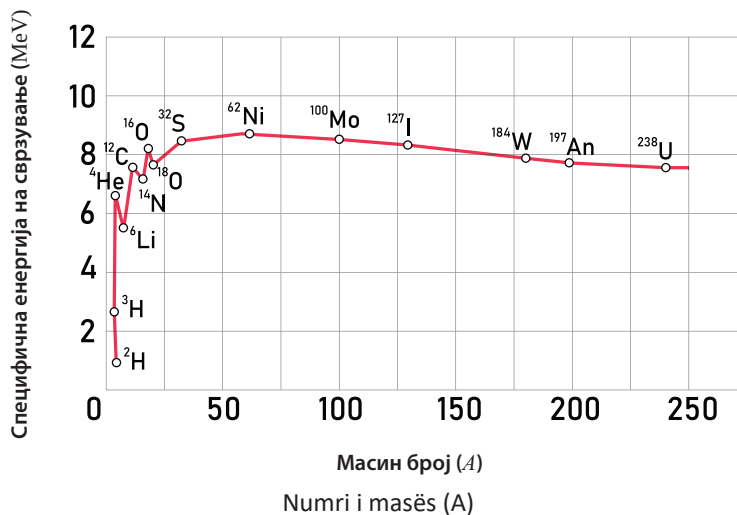


Figura 1. Grafiku i varësisë së energjisë specifike të lidhjes nga numri i nukleoneve në bërthamë

një rregull absolut për qëndrueshmërinë e çdo bërthame të veçantë. Kështu, për shembull, megjithëse bërthama e deuteriumit ka energji specifike shumë të vogël të lidhjes, ajo është e qëndrueshme, ndërsa bërthama e ${}_{92}^{238}\text{U}$, pavarësisht energjisë specifike dukshëm më të madhe të lidhjes, është radioaktive.



SHENBULL I ZGJIDHUR 2.

Llogarit defektin e masës, energjinë e lidhjes dhe energjinë specifike të lidhjes për bërthamat e: a) ${}^4_2\text{He}$ b) ${}^{62}_{28}\text{Ni}$ ${}^{238}_{92}\text{U}$ dhe c) ${}^{238}_{92}\text{U}$. Janë dhënë masa e atomit të hidrogjeni ${}_1^1\text{H}$, masa e neutronit dhe masat e atomeve përkatëse ${}^4_2\text{He}$, ${}^{62}_{28}\text{Ni}$ dhe ${}^{238}_{92}\text{U}$.

Të dhënat:

$$m({}_1^1\text{H}) = 1,0072503\text{u}$$

$$m_n = 1,00866491\text{u},$$

$$1\text{u} = 931,4941\text{MeV}/c^2.$$

$$m({}_2^4\text{He}) = 4,0026033\text{u}$$

$$m({}_{28}^{62}\text{Ni}) = 61,928345\text{u}$$

$$m({}_{92}^{238}\text{U}) = 238,05079\text{u}$$

Kërkohet:

a) $\Delta m({}_2^4\text{He}) - ?$,

$$B({}_2^4\text{He}) - ?$$

$$\varepsilon({}_2^4\text{He}) - ?$$

b) $\Delta m({}_{28}^{62}\text{Ni}) - ?$,

$$B({}_{28}^{62}\text{Ni}) - ?$$

$$\varepsilon({}_{28}^{62}\text{Ni}) - ?$$

c) $\Delta m({}_{92}^{238}\text{U}) - ?$,

$$B({}_{92}^{238}\text{U}) - ?$$

$$\varepsilon({}_{92}^{238}\text{U}) - ?$$

Zgjidhje:

Duke përdorur barazimin për defektin e masës për secilën bërthamë, kemi:

$$\Delta m({}_2^4\text{He}) = Zm({}_1^1\text{H}) + (A - Z)m_n - m({}_2^4\text{He}) = 2m({}_1^1\text{H}) + 2m_n - m({}_2^4\text{He}) = 0,030\text{u},$$

$$\Delta m({}_{28}^{62}\text{Ni}) = Zm({}_1^1\text{H}) + (A - Z)m_n - m({}_{28}^{62}\text{Ni}) = 28m({}_1^1\text{H}) + 34m_n - m({}_{28}^{62}\text{Ni}) = 0,585\text{u},$$

$$\Delta m({}_{92}^{238}\text{U}) = Zm({}_1^1\text{H}) + (A - Z)m_n - m({}_{92}^{238}\text{U}) = 92m({}_1^1\text{H}) + 146m_n - m({}_{92}^{238}\text{U}) = 1,934\text{u}.$$

Energjia e lidhjes së secilës bërthamë është:

$$B({}_2^4\text{He}) = \Delta m({}_2^4\text{He})c^2 = 28,296\text{MeV},$$

$$B({}_{28}^{62}\text{Ni}) = \Delta m({}_{28}^{62}\text{Ni})c^2 = 545,262\text{MeV},$$

$$B({}_{92}^{238}\text{U}) = \Delta m({}_{92}^{238}\text{U})c^2 = 1801,689\text{MeV}.$$

Energjia specifike e lidhjes së secilës bërthamë është:

$$\varepsilon({}_2^4\text{He}) = \frac{B({}_2^4\text{He})}{4} = 7,074\text{MeV},$$

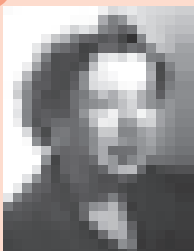
$$\varepsilon({}_{28}^{62}\text{Ni}) = \frac{B({}_{28}^{62}\text{Ni})}{62} = 8,795\text{MeV},$$

$$\varepsilon({}_{92}^{238}\text{U}) = \frac{B({}_{92}^{238}\text{U})}{238} = 7,570\text{MeV}.$$

Nga rezultatet mund të përfundohet se, megjithëse radioizotopi i uraniumit ka energji specifike të lidhjes më të madhe se ajo e bërthamës së heliumit, ai përsëri nuk është i qëndrueshëm.



SHKENCËTARE E NJOHUR



Maria Goeppert-Mayer (Maria Goeppert-Mayer, 1906–1972) ishte një nga fizikanet teorike më të rëndësishme të shekullit XX dhe figurë kyç në zhvillimin e fizikës bërthamore. Ajo lindi në Katovicë, në Poloninë e sotme, dhe studioi fizikë në Universitetin e Göttingenit, ku doktoroi në vitin 1930 nën mentorimin e Maks Bornit. Megjithëse gjatë pjesës më të madhe të karrierës së saj punoi pa një pozitë formale akademike, për shkak të kufizimeve shoqërore dhe institucionale ndaj grave në shkencën e asaj

kohe, puna e saj shkencore ishte jashtëzakonisht e rëndësishme dhe me ndikim, veçanërisht në fushën e strukturës së bërthamës atomike.

Arritja e saj më e madhe shkencore ishte zhvillimi i modelit shtresor të bërthamës atomike, të cilin e formuloi në mënyrë të pavarur dhe paralelisht me Hans Jensenin. Me këtë model ajo tregoi se nukleonet, protonet dhe neutronet, në bërthamë janë të shpërndara në shtresa diskrete energjetike, ngjashëm me shpërndarjen e elektroneve në shtresat elektronike të atomit. Modeli i shpjegon me sukses të ashtuquajturit numra magjikë të nukleoneve, të cilët u përgjigjen bërthamave veçanërisht të qëndrueshme.

Element kyç i këtij modeli ishte përfshirja e bashkëveprimit spin-orbitë ndërmjet nukleoneve, me të cilin për herë të parë u shpjegua në mënyrë të qëndrueshme qëndrueshmëria e vërejtur eksperimentalisht e disa bërthamave. Për këtë zbulim themelor, Maria Gepert-Majer e fitoi Çmimin Nobel në fizikë në vitin 1963, së bashku me Hans Jensenin dhe Juxhin Vignerin. Ajo ishte gruaja e dytë në histori që e fitoi Çmimin Nobel në fizikë, pas Maria Sklodovska-Kirit.

Puna e saj e ndryshoi përgjithmonë kuptimin e strukturës bërthamore dhe hodhi themelet për zhvillimin e mëtejshëm të fizikës bërthamore, astrofizikës bërthamore dhe zbatimeve në energjetikën bërthamore.



MËSO MË SHUMË

Formula gjysmëempirike për energjinë e lidhjes, e njohur edhe si formula e Bete–Vajczeker-it, përbën një nga rezultatet më të rëndësishme të modelit të pikës së lëngshme të bërthamës atomike. Në këtë model, bërthama shqyrtohet si një pikë e materies bërthamore, në të cilën veprojnë forca tërheqëse bërthamore me rreze të shkurtër veprimi, ndërsa njëkohësisht ekziston edhe forca elektrostатike dëbuese e Kulonit ndërmjet protoneve.

Sipas këtij modeli, energjia e përgjithshme e lidhjes $B(A, Z)$ paraqitet si shumë e disa kontributeve që përshkruajnë varësinë nga numri i masës A dhe nga numri atomik Z :

- **Termi vëllimor** ($\alpha_v A$) - e rrit energjinë e lidhjes me rritjen e numrit të nukleoneve, sepse çdo nukleon bashkëvepron me nukleonet fqinje nëpërmjet forcës së fortë bërthamore.

- **Termi sipërfaqësor** ($\alpha_s A^{2/3}$) - e zvogëlon energjinë e lidhjes, sepse nukleonet në sipërfaqen e bërthamës kanë më pak nukleone fqinje me të cilat bashkëveprojnë.

- **Termi i Kulonit** ($\alpha_c Z(Z-1) / A^{1/3}$) - e zvogëlon energjinë e lidhjes për shkak të forcës elektrostатike dëbuese ndërmjet protoneve, e cila rritet me numrin atomik Z .

- **Termi i asimetrisë** ($\alpha_{as} (A-2Z)^2 / A$) - e zvogëlon energjinë e lidhjes së bërthamave tek të cilat numri i neutronëve ndryshon nga numri i protoneve.

- **Termi i çiftëzimit** ($\alpha_p / A^{1/2}$) - merr parasysh faktin se bërthamat me numër çift protonesh dhe numër çift neutronesh kanë qëndrueshmëri më të madhe se bërthamat me numër tek nukleonesh ose bërthamat me numër tek protonesh dhe numër tek neutronesh.

Termi i fundit ka:

- vlerë pozitive për bërthamat me numër çift protonesh dhe numër çift neutronesh,
- vlerë zero për bërthamat me numër tek mase A ,
- vlerë negative për bërthamat me numër tek protonesh dhe numër tek neutronesh.

Formula, në formën e saj të zakonshme, shënohet si:

$$B(A, Z) = a_v A - a_s A^{2/3} - a_c \frac{Z(Z-1)}{A^{1/3}} - a_{as} \frac{(A-2Z)^2}{A} + \frac{a_p}{A^{1/2}},$$

ku a_v, a_s, a_c, a_{as} janë koeficientë empirikë, ndërsa α_p është termi i çiftëzimit. Vlerat numerike të koeficientëve

janë dhënë: $a_v = 15,8 \text{ MeV}$, $a_s = 18,3 \text{ MeV}$, $a_c = 0,71 \text{ MeV}$, $a_a = 23,2 \text{ MeV}$, $a_p = \pm 11,2 \text{ MeV}$, $a_p = 0$ (për A numër tek).

Për një numër të dhënë mase A, me këtë formulë mund të përcaktohet se cila bërthamë është më e qëndrueshme. Duke pasur parasysh se masa e bërthamës lidhet me energjinë e lidhjes, mund të tregohet se bërthama më e qëndrueshme me numër mase A ka numër protonesh Z_0 , i cili llogaritet përafërsisht me relacionin:

$$Z_0(A) \approx \frac{A}{2 + \left(\frac{a_c}{2a_s} \right) A^{2/3}}.$$

Gjatë llogaritjeve praktike, nëse për Z fitohet një vlerë dhjetore, ajo rrumbullakohet në numrin e plotë më të afërt, sepse në natyrë nuk ekzistojnë bërthama me, për shembull, 56,85 protone.



PYETJE DHE DETYRA

1. Çfarë do të thotë që gjatë formimit të një gjendjeje të lidhur sistemi kalon në një gjendje „energjetikisht më të ulët“?
 2. Shpjego me fjalët e tua se çfarë është energjia e lidhjes së bërthamës dhe pse ajo është masë e qëndrueshmërisë.
 3. Pse gjatë krahasimit të qëndrueshmërisë së bërthamave të ndryshme përdoret energjia specifike e lidhjes dhe jo vetëm energjia e përgjithshme e lidhjes?
 4. Pse energjia specifike e madhe e lidhjes nuk garanton që bërthama është e qëndrueshme?
 5. Një bërthamë me 56 nukleone ka energji specifike të lidhjes prej 8,79 MeV.
- a) Llogarit energjinë e lidhjes së bërthamës.
b) Llogarit defektin e masës në njësi të unifikuara të masës.
c) Llogarit sa për qind e masës së nukleoneve çlirohet në formë energjie gjatë formimit të bërthamës. (Zgjidhja: a) 492,24 MeV; b) 0,53u ; c) 0,94 %)

4.11. Reaksionet bërthamore

Në mësimet e mëparshme folëm për **zbërthimet radioaktive** – procese gjatë të cilave një bërthamë atomike e paqëndrueshme shndërrohet spontanisht në një bërthamë tjetër. Gjatë zbërthimeve radioaktive fitohet një bërthamë më e qëndrueshme dhe emetohen grimca dhe rrezatim. Zbërthimi radioaktiv është **dukuri natyror** që nuk mund të shkaktohet ose të ndalet nga ndikime të jashtme, si ngrohja, ndriçimi ose reaksionet kimike. Në vitin 1934, Iren Zholio-Kiri dhe Frederik Zholio-Kiri sollën një kthesë në fizikën bërthamore. Ata treguan se radioaktiviteti **nuk është domosdoshmërisht vetëm dukuri natyrore**, por mund të krijohet në **mënyrë artificiale në laborator**. Duke bombarduar bërthamat atomike të qëndrueshme të aluminit me grimca α , ata arritën të krijojnë bërthama të reja të paqëndrueshme. Bërthamat e reja vazhdonin të zbërtheheshin në mënyrë radioaktive edhe pas largimit të burimit të grimcave α . Kjo dukuri u quajt radioaktivitet artificial (i induktuar).

Me këtë zbulim, për herë të parë u bë e qartë se:

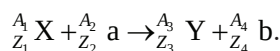
- përbërja e bërthamës atomike mund të ndryshohet;
- mund të krijohen radioizotope që nuk ekzistojnë në natyrë;
- hapet rruga drejt kërkimeve të reja dhe zbatimeve të shumta në mjekësi, në shkencë dhe në industri.

Proceset gjatë të cilave ndryshon bërthama atomike quhen reaksione bërthamore (nukleare). Shkaku mund të jetë bashkëveprimi me një grimcë tjetër ose me një bërthamë tjetër. Ndryshe nga zbërthimi radioaktiv,

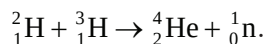
reaksioni bërthamor nuk është dukuri spontane. Ai ndodh si rezultat i bashkëveprimit ndërmjet grimcave të afuara në largësi shumë të vogla. Grimcat duhet të afrohen në largësi të rendit 10^{-15} m që të veprojnë forcat e forta bërthamore.

Gjatë reaksioneve bërthamore vlejné ligjet e ruajtjes së energjisë, impulsit, ngarkesës dhe numrit të nukleoneve. Ato zbatohen në të njëjtën mënyrë si te zbërthimet radioaktive. Këto ligje mundësojnë përcaktimin e saktë të produkteve të reaksionit dhe analizimin nëse një reaksion bërthamor është i mundur.

Ngjashëm si në kimi, grimcat para reaksionit i quajmë reaktantë, ndërsa ato pas reaksionit quhen produkte. Reaksionet bërthamore mund të kuptohen më thjesht si përplasje të grimcave në nivel bërthamor. Prandaj, njërin prej reaktantëve do ta quajmë grimcë-projektile, ndërsa tjetrin grimcë-shënjestër. Grimca mund të jetë edhe një bërthamë e tërë. Zakonisht si „shënjestër“ merret grimca më masive ose grimca që ndodhet në qetësi para përplasjes. Si më parë, bërthamat e elementeve të panjohura i shënojmë me A_ZX dhe A_ZY . Kur janë të panjohura, edhe grimcat i shënojmë në mënyrë të ngjashme A_a dhe A_b . Atëherë reaksioni mund të shënohet si:



Një shembull i reaksionit bërthamor është paraqitur në figurën 1 dhe shënohet me barazimin:

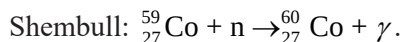


Ndarja e reaksioneve bërthamore

Reaksionet bërthamore ndahen sipas llojit të projektilit dhe sipas bashkëveprimit ndërmjet projektilit dhe shënjestrës. Dallojmë disa lloje themelore reaksionesh.

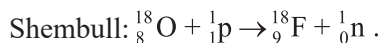
1. Reaksionet bërthamore me neutrone

Neutronet janë projektele veçanërisht efikase. Meqenëse nuk kanë ngarkesë, ato nuk e ndiejnë forcën dëbuese të Kulonit. Prandaj, depërtojnë lehtësisht në bërthamë dhe shkaktojnë transformime bërthamore. Reaksione të tilla hasen në reaktorët bërthamorë dhe në analizën e aktivizimit neutronik, gjatë së cilës, nëpërmjet përrthithjes së një neutroni, mund të krijohet një izotop radioaktiv.



2. Reaksionet me grimca të ngarkuara (protone dhe grimca α)

Kur projektili është i ngarkuar, për t'iu afuar bërthamës duhet të ketë energji kinetike mjaft të madhe për ta mposhtur forcën dëbuese të Kulonit. Forca e fortë tërheqëse bërthamore mund të veprojë vetëm në largësi të rendit 10^{-15} m



3. Reaksionet e shpërndarjes

Gjatë reaksioneve të shpërndarjes, projektili nuk mbetet përgjithmonë në bërthamën-shënjestër. Ai mund të shpërndahet në mënyrë elastike ose t'u transmetojë energji nukleoneve të bërthamës, të cilat më pas emetohen. Shembull i një reaksioni të tillë është reaksioni me beriliumin, nga i cili, pas bombardimit me një neutron, emetohen dy neutrone. Kjo veti mund të përdoret për shumëfishimin e numrit të neutroneve.

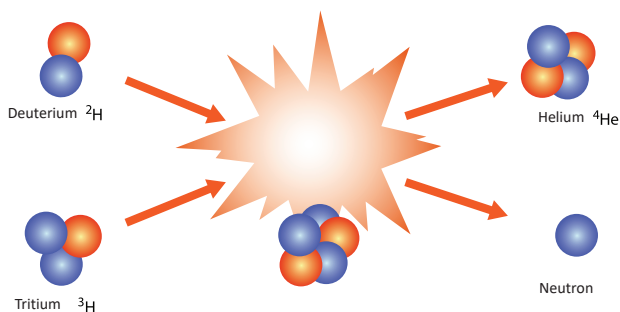
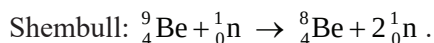
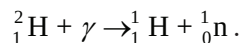


Figura 1. Shembull i një reaksioni bërthamor (nuklear)

4. Reaksionet fotobërthamore (reaksionet e induktuara nga rrezatimi γ -)

Nëse bërthama absorbon një kuant γ -me energji të lartë, ajo mund të emetojë një nukleon. Shembull i një reaksioni të tillë është:



Energjia e reaksionit bërthamor

Në fizikën bërthamore, rëndësi të veçantë ka energjia e reaksionit bërthamor, përkatësisht nëse gjatë reaksionit:

- çlirohet energji ose
- duhet të jepet energji që reaksioni të ndodhë.

Ashtu si te zbërthimet radioaktive, me „energji“ nënkuptohet energjia e përgjithshme, e cila përfshin edhe energjitë që lidhen me masën e grimcave, në përputhje me relacionin $E = mc^2$.

Energjia e reaksionit bërthamor përshkruhet me të ashtuquajturën vlerë Q . Ajo paraqet ndryshimin ndërmjet energjisë së grimcave para dhe pas reaksionit. Llogaritet nëpërmjet masave të reaktantëve dhe të produkteve:

$$Q = (m_{\text{reaktantë}} - m_{\text{produkte}})c^2.$$

Vlera e Q mund të jetë pozitive ose negative, gjë që ka kuptim të qartë fizik:

Nëse $Q > 0$, reaksioni është ekzotermik. Gjatë reaksionit çlirohet energji, e cila shndërrohet në energji kinetike të produkteve.

Nëse $Q < 0$, reaksioni është endotermik. Q ë reaksioni të ndodhë, grimca-projektil duhet të ketë energji të mjaftueshme kinetike fillestare për ta mposhtur punën e forcës debuese të Kulonit.

Në të dyja rastet duhet të vlejë njëkohësisht edhe Ligji i ruajtjes së impulsit, i cili përcakton mënyrën e shpërndarjes së energjisë ndërmjet produkteve të reaksionit.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Sa energji çlirohet gjatë një reaksioni bërthamor në rastin e përgjithshëm?

Zgjidhje:

Të shqyrtojmë reaksionin në vijim: ${}^A_1\text{X} + {}^A_2\text{a} \rightarrow {}^A_3\text{Y} + {}^A_4\text{b}$

Ligji i ruajtjes së energjisë së përgjithshme shkruhet në formën: $E_1 = E_2$, me E_1 shënohet energjia e përgjithshme e reaktantëve, ndërsa me E_2 energjia e përgjithshme e produkteve. Energjia e përgjithshme e secilës grimcë është e barabartë me shumën e energjisë në qetësi dhe të energjisë kinetike: $E = mc^2 + E_k$. Me zëvendësim, ligji i ruajtjes së energjisë merr formën:

$$m_1c^2 + m_2c^2 + E_{k,X} + E_{k,a} = m_3c^2 + m_4c^2 + E_{k,Y} + E_{k,b},$$

ku me m_1, m_2, m_3 , dhe m_4 shënohen përkatësisht masat e ${}^A_1\text{X}$, ${}^A_2\text{a}$, ${}^A_3\text{Y}$ dhe ${}^A_4\text{b}$.

Madhësitë që përmbajnë c^2 i grupojmë në njërën anë, ndërsa energjitë kinetike në anën tjetër.:

$$(m_1 + m_2 - m_3 - m_4)c^2 = (E_{k,Y} + E_{k,b}) - (E_{k,X} + E_{k,a}).$$

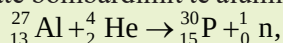
Ana e majtë paraqet pikërisht vlerën Q të reaksionit $Q = (m_X + m_a - m_Y - m_b)c^2$, e cila mund të llogaritet edhe nëpërmjet energjive kinetike të reaktantëve dhe të produkteve.:

$$Q = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4)c^2.$$



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Në vitin 1934, Zholio-Kiri treguan se gjatë bombardimit të aluminit me grimca α fitohet fosfor radioaktiv::



a. Llogarit vlerën Q të reaksionit. Janë të njohura energjitë e lidhjes së reaktantëve dhe të produkteve të reaksionit bërthamo $B({}_{13}^{27}\text{Al}) = 224,95 \text{ MeV}$, $B({}_2^4\text{He}) = 28,30 \text{ MeV}$, $B({}_{15}^{30}\text{P}) = 252,20 \text{ MeV}$, $B({}_0^1\text{n}) = 0 \text{ MeV}$ dhe energjia kinetike e grimcës alfa $E_{k,\alpha} = 5,0 \text{ MeV}$.

b. Llogarit energjinë kinetike të produkteve nëse bërthama e aluminit është në qetësi.

c. Me kusht që produktet e reaksionit bërthamor të lëvizin në drejtime që formojnë kënd prej 180° , përcakto energjitë e tyre kinetike. Janë të njohura masat e grimcës alfa, të bërthamës së fosforit dhe të neutronit: $m_\alpha = 4,0015 \text{ u}$, $m_n = 1,0087 \text{ u}$, $m_p = 29,9738 \text{ u}$, dhe $1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2$.

Të dhënat:

$$B({}_{13}^{27}\text{Al}) = 224,95 \text{ MeV},$$

$$B({}_2^4\text{He}) = 28,30 \text{ MeV},$$

$$B({}_{15}^{30}\text{P}) = 252,20 \text{ MeV},$$

$$B({}_0^1\text{n}) = 0 \text{ MeV}.$$

$$E_{k,\alpha} = 5,0 \text{ MeV}.$$

$$m_\alpha = 4,0015 \text{ u},$$

$$m_n = 1,0087 \text{ u},$$

$$m_p = 29,9738 \text{ u},$$

$$1 \text{ u} = 931,5 \text{ MeV}/c^2.$$

Zgjidhje:

a) Vlera Q -llogaritet nëpërmjet masave të reaktantëve dhe të produkteve të reaksionit bërthamor, sipas barazimit:

$$Q = (m_{j,\text{Al}} + m_\alpha - m_{j,\text{P}} - m_n)c^2.$$

llogaritet nëpërmjet masave të reaktantëve dhe të produkteve të reaksionit bërthamor, sipas barazimit

$$m_{j,\text{Al}} = 13m_p + 14m_n - \frac{B({}_{13}^{27}\text{Al})}{c^2},$$

$$m_{j,\alpha} = 2m_p + 2m_n - \frac{B({}_2^4\text{He})}{c^2},$$

$$m_{j,\text{P}} = 15m_p + 15m_n - \frac{B({}_{15}^{30}\text{P})}{c^2}.$$

Duke i zëvendësuar këto masa në barazimin për llogaritjen e vlerës Q të reaksionit, kemi:

$$Q = B({}_{13}^{27}\text{Al}) - (B({}_{15}^{30}\text{P}) + B({}_2^4\text{He})) = -1,05 \text{ MeV}.$$

Rezultati i fundit tregon se reaksioni është endotermik.

b) Sipas Ligjit të ruajtjes së energjisë, kur shënjestra është në qetësi, kemi:

$$Q = E_{k,\text{P}} + E_{k,\text{n}} - E_{k,\alpha} \Rightarrow E_{k,\text{P}} + E_{k,\text{n}} = Q + E_{k,\alpha} = 3,95 \text{ MeV}.$$

c) Ligji i ruajtjes së impulsit është:

$$\vec{p}_{\text{Al}} + \vec{p}_\alpha = \vec{p}_{\text{P}} + \vec{p}_{\text{n}}.$$

Meqenëse shënjestra është në prehje, ndërsa produktet e reaksionit lëvizin në drejtime që formojnë kënd prej 180° , duke i projektuar impulsat mbi drejtëzën, kemi:

$$p_\alpha = p_{\text{P}} - p_{\text{n}}.$$

Duke pasur parasysh lidhjen ndërmjet energjisë kinetike dhe impulsit të grimcës, mund të shkruajmë:

$$\sqrt{2m_\alpha E_{k,\alpha}} = \sqrt{2m_{\text{P}} E_{k,\text{P}}} - \sqrt{2m_{\text{n}} E_{k,\text{n}}}.$$

Nga ky barazim dhe nga barazimi i fituar në kërkesën b):

$$E_{k,\text{P}} + E_{k,\text{n}} = 3,95 \text{ MeV}.$$

për energjinë kinetike të bërthamës së fosforit dhe të neutronit fitojmë:

$$E_{k,\text{n}} = 2,70 \text{ MeV},$$

$$E_{k,\text{P}} = 1,25 \text{ MeV}.$$

Kërkohet:

a) Q - ?, b) $E_{k,\text{P}} + E_{k,\text{n}} - ?$

c) $E_{k,\text{P}} - ?$ $E_{k,\text{n}} - ?$

Reaksionet bërthamore në mjekësi

Reaksionet bërthamore kanë zbatim të rëndësishëm në mjekësi, para së gjithash nëpërmjet prodhimit dhe përdorimit të radioizotopeve për qëllime diagnostikuese dhe terapeutike. Rrezatimi jonizues që ato emetojnë mund të detektohet në mënyrë cilësore dhe sasiore, për shembull, me spektrometrinë gama, gjë që mundëson ndjekjen dhe matjen e radioizotopeve të futura në organizëm.

Nëpërmjet reaksioneve bërthamore prodhohen radionuklide që kanë periudë të përshtatshme gjysmëzbërthimi. Reaksionet e tilla përbëjnë bazën e prodhimit të radiofarmaceutikëve, më së shpeshti në ciklotrone (përsheptues grimcash), dhe janë pjesë kyçe e mjekësisë bashkëkohore bërthamore (figura 2).

Në radioterapi përdoret rrezatim fotonik me energji të lartë. Në institucione të tilla duhet të merren parasysh edhe bashkëveprimet bërthamore të rrezatimit gjatë planifikimit të mbrojtjes nga rrezatimi. Megjithatë gjatë reaksioneve të shpërndarjes së rrezatimit fotonik bërthama-shënjestër nuk ndryshon, ato kanë rëndësi për detektimin dhe ekranimin e rrezatimit jonizues në kushte mjekësore

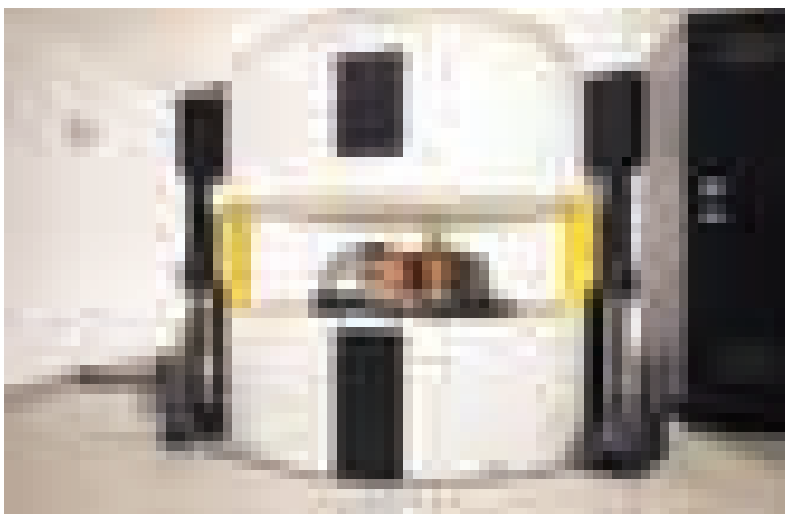


Figura 2. Kompleks ciklotronik për sintezën e radionuklideve dhe prodhimin e izotopeve

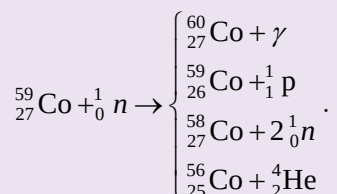


MËSO MË SHUMË

E njëjta bërthamë-shënjestër, e bombarduar me të njëjtin projekttil, nuk jep domosdoshmërisht gjithmonë të njëjtat produkte. Arsyeja është se reaksioni bërthamor mund të zhvillohet nëpërmjet **kanaleve të ndryshme të reaksionit** dhe të rezultojë në reaksione të ndryshme bërthamore. Kanali i reaksionit që do të realizohet varet kryesisht nga **energjinë e projektilit**.

Kur projektili është neutron me energji të vogël, zakonisht ndodh përthithja e tij nga bërthama, me ç'rast emetohet një kuant γ . Me rritjen e energjisë bëhen të mundshme reaksionet në të cilat bërthama nxjerr një ose më shumë grimca, si proton, grimcë α ose neutron. Për çdo kanal të reaksionit ekziston një **prag energjie**, përkatësisht energjinë më të vogël që duhet të ketë projektili që reaksioni të ndodhë. Nëse energjinë e projektilit është nën këtë prag, reaksioni nuk mund të ndodhë, sepse nuk mund të përmbushen ligjet e ruajtjes së energjisë dhe të impulsit. Prandaj, me rritjen e energjisë së neutroneve hapen gradualisht kanale të reja të reaksionit dhe fitohen produkte të ndryshme.

Më poshtë paraqiten reaksionet e ndryshme bërthamore që mund të ndodhin gjatë bombardimit të bërthamës së $^{59}_{27}\text{Co}$ me neutrone, të renditura sipas sasisë së energjisë që duhet të ketë neutroni për të shkaktuar reaksionin, nga më e vogla tek më e madhja. (Te kobalti të lutem simboli të shënohet si duhet se nuk më dha opsion kompjuteri).



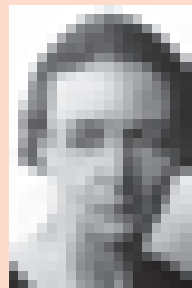


SHKENCËTARE E NJOHUR

Iren Zholio-Kiri (Irène Joliot-Curie, 1897–1956) ishte fizikane dhe kimiste franceze, e cila dha një kontribut kyç në zhvillimin e fizikës bërthamore. Ajo punoi në Institutin e Radiumit në Paris, ku u mor me studimin e radioaktivitetit, matjen e rrezatimit dhe përgatitjen e burimeve radioaktive, në një periudhë kur fizika bërthamore po formohej si disiplinë e pavarur shkencore.

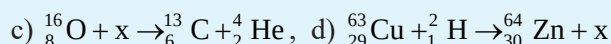
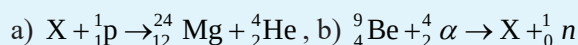
Zbulimi i saj më i rëndësishëm lidhet me radioaktivitetin artificial. Së bashku me bashkëshortin e saj, Frederik Zholio-Kiri, në vitin 1934 tregoi se nëpërmjet bombardimit të bërthamave atomike të qëndrueshme me grimca α mund të krijohen bërthama të reja të paqëndrueshme, të cilat vazhdojnë të zbërthehen edhe pas ndërprerjes së bombardimit. Me këtë u tregua se radioaktiviteti nuk është vetëm dukuri natyrore, por edhe proces që mund të krijohet në laborator.

Ky zbulim hapi rrugën për krijimin e një numri të madh radioizotopesh që nuk gjenden në natyrë dhe për përdorimin e tyre në shkencë dhe në mjekësi. Për zbulimin e radioaktivitetit artificial, Iren dhe Frederik Zholio-Kiri e fituan Çmimin Nobel në kimi në vitin 1935. Megjithatë jeta e saj ishte relativisht e shkurtër, puna e saj la ndikim të përherëshëm në zhvillimin e fizikës bërthamore dhe të mjekësisë bashkëkohore bërthamore.



PYETJE DHE DETYRA

1. Pse në reaksionet me projekte të ngarkuara nevojitet energji kinetike shumë më e madhe e projektilit që të ndodhë reaksioni bërthamor, krahasuar me reaksionet me neutrone?
2. Në cilat raste reaksioni do të jetë ekzotermik dhe në cilat endotermik? Çfarë do të thotë kjo për energjinë kinetike minimale që duhet të ketë projektili?
3. Pse gjatë një reaksioni bërthamor, në të cilin shënjestra është në qetësi, shpërndarja e energjive kinetike të produkteve varet shumë nga masat e tyre?
4. Pse e njëjta bërthamë-shënjestër, e bombarduar me të njëjtin projektil, mund të krijojë produkte të ndryshme të reaksionit bërthamor, përkatësisht kanale të ndryshme reaksioni?
5. Në secilin nga rastet vijuese, përcakto grimcën/bërthamën e panjohur duke përdorur ligjet e ruajtjes së numrit të nukleoneve dhe të ngarkesës. Përdor edhe Sistemin periodik të elementeve.



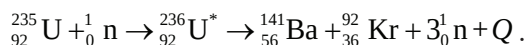
6. Për reaksionin $a + A \rightarrow b + B$ jepen: $m_a + m_A = 15,0000\text{u}$, $m_b + m_B = 14,9985\text{u}$. Llogarit vlerën Q të reaksionit bërthamor dhe shprehe në MeV. A është reaksioni endotermik apo ekzotermik? Merret se $1\text{uc}^2 = 931,5\text{MeV}$. (Zgjidhja: $Q = 1,40\text{ MeV}$).
7. Për reaksionin ${}^{10}\text{B} + \text{n} \rightarrow {}^7\text{Li} + \alpha$ dihet se $Q = 2,79\text{MeV}$ dhe merret se bërthama-shënjestër është në prehje. Energjia e neutronit është aq e vogël sa mund të shpërfillet.
 - a) Sa është energjia e përgjithshme kinetike e produkteve?
 - b) Nëse produktet e reaksionit bërthamor dalin përgjatë një drejtëze në kahje të kundërta (180°), llogarit energjinë kinetike të secilit produkt. Masat e bërthamave mund t'i llogaritësh sipas relacionit të dhënë: $M = Au$, ku $1\text{uc}^2 = 931,5\text{MeV}$. (Zgjidhja: a) $2,79\text{ MeV}$, b) $1,78\text{ MeV}$; $1,01\text{ MeV}$)
8. Reaksioni ${}^7_3\text{Li} + \text{p} \rightarrow X + {}^4_2\text{He}$ ka energji të reaksionit bërthamor $Q = -1,64\text{MeV}$, ndërsa bërthama-shënjestër është në qetësi.

- a) Përcakto bërthamën-produkt të reaksionit bërthamor. Trego se energjia kinetike minimale që duhet të ketë protoni mund të llogaritet me relacionin e dhënë.. $E_{p,\min} = -Q(1 - \frac{m_p}{m_{Li}})$.
- b) A mund ta shkaktosh këtë reaksion një proton me energji kinetike prej 2,0 MeV Të merret se $m_p / m_{Li} \approx 1/7$?

4.12. Fisioni, fuzioni dhe reaktorët bërthamorë

Siç pamë në mësimin e mëparshëm, reaksionet bërthamore janë procese gjatë të cilave bërthama ndryshon nëpërmjet bashkëveprimit me një grimcë tjetër ose me një bërthamë tjetër, duke respektuar ligjet e ruajtjes së numrit të nukleoneve, ngarkesës elektrike, energjisë dhe impulsit. Reaksionet bërthamore i grupuam sipas llojit të projektilit dhe sipas bashkëveprimit ndërmjet projektilit dhe shënjestrës. Në grupin më të gjerë të reaksioneve me neutrone bën pjesë edhe reaksioni i quajtur **fision**. **Fisioni është proces gjatë të cilit një bërthamë e rëndë ndahet në dy bërthama me masë mesatare dhe emetohen disa neutrone**. Gjatë këtij reaksioni çlirohet një sasi e konsiderueshme energjie. Fisioni bërthamor përbën bazën e funksionimit të reaktorëve bërthamorë dhe të prodhimit të energjisë elektrike në centralet bërthamore.

Fisioni zakonisht shqyrtohet si **reaksion bërthamor i induktuar (i shkaktuar)**, gjatë të cilit neutroni shkakton ndarjen e bërthamave të rënda, për shembull, të uraniumit ose të plutoniumit. Meqenëse neutroni nuk ka ngarkesë elektrike, ai mund të depërtojë lehtësisht në bërthamë dhe të krijojë një bërthamë në gjendje energjetike të ngacmuar. Një bërthamë e tillë është e paqëndrueshme, prandaj ndahet në dy bërthama më të lehta, të quajtura fragmente të fisionit. Gjatë procesit fitohen edhe disa neutrone të lira. Një shembull tipik i reaksionit bërthamor të induktuar është fisioni i përshkruar me relacionin:



Me relacionin e dhënë është paraqitur vetëm një kanal i mundshëm i reaksionit bërthamor. Kjo nuk do të thotë se bërthama e ngacmuar ${}_{92}^{236}\text{U}^*$ do të ndahet gjithmonë në të njëjtat fragmente të fisionit. Megjithatë mund të përftohen kombinime të ndryshme të fragmenteve të fisionit, thelbi i procesit është i njëjtë: gjithmonë përftohen dy fragmente me masë mesatare, çlirohen 2–3 neutrone dhe çlirohet energjia Q . Energjia e çliruar gjatë fisionit buron nga energjia e lidhjes së bërthamave.

Fragmentet e fisionit kanë energji specifike më të madhe të lidhjes krahasuar me bërthamën e rëndë fillestare. Prandaj, energjia „e tepërt“ çlirohet si energji kinetike e fragmenteve dhe në formën e rrezatimit.

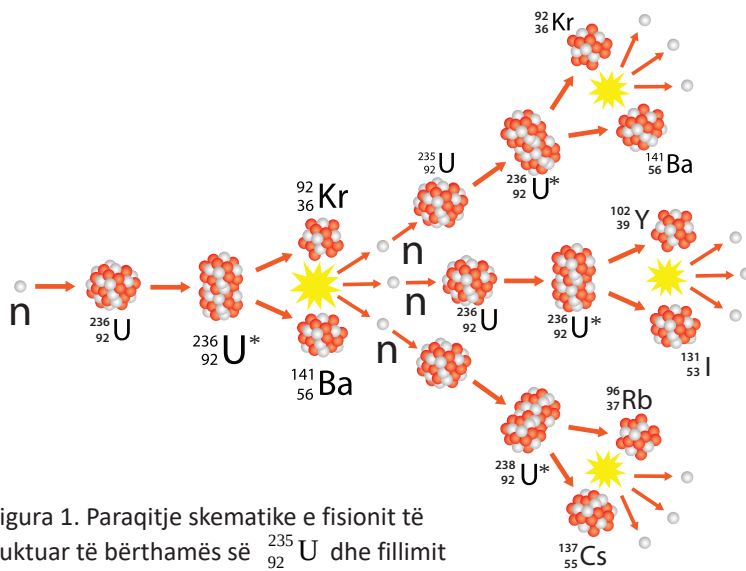


Figura 1. Paraqitje skematike e fisionit të induktuar të bërthamës së ${}_{92}^{235}\text{U}$ dhe fillimit të krijimit të reaksionit zinxhiror

Prandaj, fisioni është shembull i një reaksioni bërthamor gjatë të cilit sistemi kalon nga një gjendje me energji specifike më të vogël të lidhjes në një gjendje me energji specifike më të madhe të lidhjes, me ç'rast çlirohet energji.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Llogarit energjinë që çlirohet gjatë fisionit të një bërthame të $^{235}_{92}\text{U}$, sipas reaksionit bërthamor të dhënë më sipër. Energjia specifike e lidhjes së bërthamës së uraniumit është 7,89 MeV, ndërsa energjitë specifike të lidhjes së bërthamave të bariumit dhe të kriptonit janë përkatësisht 8,34 MeV dhe 8,60 MeV. Energjia kinetike e neutronit dhe e bërthamës së uraniumit të shpërfilllet. Llogarit sa energji do të çlirohet nga 1 g uranium, bërthamat e të cilit kanë pësuar fision. Masa molare e uraniumit është 235 g/mol.

Të dhënat:

$$\varepsilon(^{235}_{92}\text{U}) = 7,89 \text{ MeV},$$

$$\varepsilon(^{141}_{56}\text{Ba}) = 8,34 \text{ MeV},$$

$$\varepsilon(^{92}_{36}\text{Kr}) = 8,60 \text{ MeV},$$

$$M_{\text{U}} = 235 \text{ g/mol},$$

$$N_{\text{A}} = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

Kërkohet:

$$Q - ?, E - ?$$

Zgjidhje:

Vlera Q mund të llogaritet si ndryshimi ndërmjet energjive të përgjithshme të lidhjes së produkteve dhe të reaktantëve:

$$Q = (m_{\text{j,U}} + m_{\text{n}} - m_{\text{j,Ba}} - m_{\text{j,Kr}} - 3m_{\text{n}})c^2,$$

$$Q = (92m_{\text{p}} + 143m_{\text{n}} - \frac{B(^{235}_{92}\text{U})}{c^2} + m_{\text{n}} - 56m_{\text{p}} - 85m_{\text{n}} + \frac{B(^{141}_{56}\text{Ba})}{c^2}$$

$$- 36m_{\text{p}} - 56m_{\text{n}} + \frac{B(^{92}_{36}\text{Kr})}{c^2} - 3m_{\text{n}})c^2,$$

$$Q = B(^{141}_{56}\text{Ba}) + B(^{92}_{36}\text{Kr}) - B(^{235}_{92}\text{U}).$$

Duke përdorur lidhjen ndërmjet energjisë specifike të lidhjes dhe energjisë së lidhjes së bërthamave, $\varepsilon = \frac{B(A, Z)}{A}$, kemi:

$$Q = 141 \cdot \varepsilon(^{141}_{56}\text{Ba}) + 92 \cdot \varepsilon(^{92}_{36}\text{Kr}) - 92 \cdot \varepsilon(^{235}_{92}\text{U}) = 183,49 \text{ MeV}.$$

Energjia që do të çlirohet nga 1 g uranium, atomet e të cilit kanë pësuar fision, është::

$$E = NQ = \frac{m}{M} N_{\text{A}} \cdot Q = 7,5 \cdot 10^{10} \text{ J}.$$

Kjo energji është ekuivalente me energjinë që çlirohet gjatë djegies së 3 deri në 6 tonëve linjit, në varësi të vlerës së tij kalorifike.

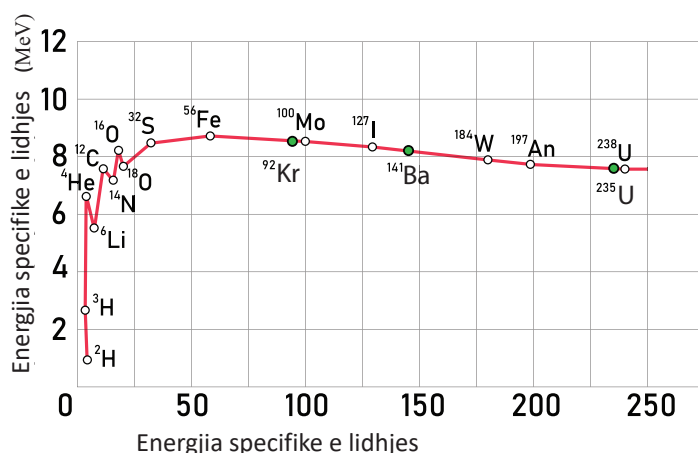


Figura 2. Energjia specifike e lidhjes së bërthamave. Me fisionin e bërthamës së $^{235}_{92}\text{U}$, e cila ka energji specifike më të vogël të lidhjes, përftohen dy bërthama me energji specifike më të madhe të lidhjes $^{141}_{56}\text{Ba}$ dhe $^{92}_{36}\text{Kr}$. Gjatë fuzionit, me bashkimin e dy bërthamave me energji specifike të vogël të lidhjes ^2_1H dhe ^3_1H , përftohet një bërthamë me energji specifike të madhe të lidhjes ^4_2He .

Pasoja praktike më e rëndësishme e fisionit është mundësia e krijimit të **reaksionit zinxhiror**. Neutronet që çlirohen gjatë një fisioni mund të shkaktojnë fisione të reja në bërthamat fqinje. Nëse mesatarisht të paktën një prej këtyre neutroneve shkakton fisionin vijues, procesi është i vetëqëndrueshëm, përkatësisht nuk nevojitet furnizim shtesë me neutrone.

Reaksionet zinxhirore përshkruhen me faktorin e shumëzimit k , i cili tregon se sa fisione të reja do të shkaktojë një fision paraprak:

$$k = \frac{N_2}{N_1} = \frac{N_3}{N_2} = \frac{N_4}{N_3} = \dots = \frac{N_n}{N_{n-1}}.$$

Numrat $N_1, N_2, \dots, N_n$ tregojnë numrin e

zbërthimeve në një gjeneratë të caktuar. Ky faktor është i rëndësishëm për të përcaktuar nëse reaksioni do të jetë zinxhiror:

Nëse $k < 1$, reaksioni zinxhiror **shuhet**.

Nëse $k = 1$, reaksioni është **kritik** dhe numri i fisioneve në njësi të kohës është konstant.

Nëse $k > 1$, reaksioni është **superkritik** dhe zhvillohet në mënyrë shpërthyes.

Për të shmangur pasoja katastrofike, në reaktorët bërthamorë është e nevojshme që numri i neutroneve që shkaktjnë proceset e fisionit të jetë konstant, përkatësisht $k \approx 1$. Në këtë rast sigurohet prodhim i kontrolluar dhe i qëndrueshëm i energjisë. Kontrolli realizohet nëpërmjet absorbimit të neutroneve me shufra kontrolli, si dhe nëpërmjet kushteve fizike në reaktor, të cilat ndikojnë në lëvizjen dhe në energjinë e neutroneve.

Përveç aspektit energjetik, fisioni ka edhe një aspekt të rëndësishëm radiologjik. Fragmentet e fisionit zakonisht janë radioaktive dhe zbërthehen nëpërmjet zbërthimit β -dhe emetimit γ . Prandaj, përveç energjisë së menjëhershme që çlirohet gjatë fisionit, ekziston edhe energji shtesë që çlirohet nga produktet e zbërthimit. Ky proces mund të vazhdojë edhe pas ndërprerjes së fisionit, gjë që duhet të merret parasysh gjatë projektimit të sistemeve të sigurisë dhe menaxhimit të karburantit bërthamor të shpenzuar.



AKTIVITETI 1.

Hulumtimi i kushteve për reaksionin zinxhiror me simulimin PhET

Qëllimi i aktivitetit: Të hulumtohet se si ndikon përbërja e materialit, përkatësisht raporti $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ në mundësinë e zhvillimit të një reaksioni zinxhiror të vetëqëndrueshëm dhe në faktorin e shumëzimit k .



Mjeti: Simulimi PhET „Fisioni bërthamor“. (*Nuclear Fission*)
<https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/nuclear-physics/latest/nuclear-physics.html?simulation=nuclear-fission>

Pjesa 1. Vëzhgimi i sjelljes së ^{235}U dhe ^{238}U

1. Në simulim, zgjidh skedën „Reaksioni zinxhiror“ (Chain Reaction).
2. Vendos një bërthamë të ^{235}U . Drejto një neutron drejt bërthamës duke klikuar butonin e kuq në emetuesin e neutroneve.
3. Pasi neutroni të përplasë me bërthamën, vendose simulimin në pauzë..
 - Çfarë vëren?
 - A përputhet rezultati me paraqitjen skematike të fisionit të paraqitur në figurën 1?
4. Përsërite procedurën, por këtë herë me bërthamë të uraniumit-238.
 - Emetuesin e neutroneve mund ta drejtosh në drejtime të ndryshme.
 - Çfarë ndodh me këtë bërthamë kur goditet nga një neutron?

Pjesa 2. Ndikimi i përbërjes së materialit në faktorin e shumëzimit k

Në Pjesën 1 u vërejt se gjatë fisionit bërthama e ^{235}U çliron neutrone të reja dhe mund të shkaktojë fisione të mëtejshme. Prandaj ^{235}U do ta përdorim si „nxitës“ të reaksionit zinxhiror. Bërthama e ^{238}U nuk pëson fision lehtësisht, por gjatë përplasjes me një neutron e absorbon atë dhe shndërrohet në bërthamë ^{239}U . Në këtë mënyrë zvogëlon numrin e neutroneve të disponueshme për fisione të reja. Prandaj ^{238}U mund të përdoret për kontrollimin e reaksionit zinxhiror.

Gjatë gjithë eksperimentit:

Numri i përgjithshëm i bërthamave në çastin fillestar do të jetë:

$$N_0 = N_0(^{235}\text{U}) + N_0(^{238}\text{U}) = 100$$

Do ta ndryshosh raportin ndërmjet dy izotopeve.

Do ta matësh përqindjen e bërthamave që kanë pësuar fision, e cila paraqitet në këndin e poshtëm djathtas të simulimit.

Do ta vlerësosh faktorin e shumëzimit k .

Procedura:

1. Vendos 20 bërthama të ^{235}U dhe 80 bërthama të ^{238}U .

Drejtoje emetuesin e neutroneve nga një bërthamë e ^{235}U dhe nise simulimin

- Çfarë ndodh?
- Shëno në tabelë përqindjen e bërthamave që kanë pësuar fision..
- Vlerëso nëse $k < 1$, $k \approx 1$ dhe $k > 1$.

2. Rrite për 10 numrin e bërthamave të ^{235}U dhe zvogëloje për 10 numrin e bërthamave të ^{238}U .

Përsërite procedurën dhe shënoji rezultatet në tabelë.

3. Vazhdo ta ndryshosh raportin me hapa prej 10, derisa të arrish

$$N_0(^{235}\text{U}) = 100.$$

4. Si quhet procesi që ndodh kur $N_0(^{235}\text{U}) = 100$?

A është i dëshirueshëm një proces i tillë për një reaktor bërthamor? Shpjego.

(^{235}U)	$N_0(^{238}\text{U})$	Bërthamat që kanë pësuar fuzion (%)	$k < 1 / k \approx 1 / k > 1$
20	80	10	$k < 1$
30	70		
40	60		
...			

Pjesa 3. Përcaktimi i vlerës së k të përshtatshme për reaktorin bërthamor

Gjatë një reaksioni zinxhiror të qëndrueshëm ($k \approx 1$) numri i fisioneve as nuk rritet vëllueshëm dhe as nuk zvogëlohet shpejt. Qëllimi është që reaksioni të jetë i kontrolluar dhe afatgjatë.

Përpiqu të gjesh raportin e përafërt të bërthamave të ^{235}U dhe të ^{238}U për të cilin reaksioni zinxhiror:

- nuk shuhet
- por as nuk bëhet shpërthyes.

Mendo: që reaksioni të jetë i qëndrueshëm dhe i kontrolluar, numri i neutroneve nga një gjeneratë në tjetrën duhet të jetë përafërsisht i njëjtë. Gjatë fisinit, bërthama e ^{235}U çliron mesatarisht 2–3 neutrone. Që $k \approx 1$, vetëm njëri prej këtyre neutroneve duhet të shkaktojë një fision të ri, ndërsa neutronet e tjera absorbohen ose humbasin. Sa duhet të jetë përqindja e raportit $^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$ që të përftohet $k \approx 1$? Kontrollonje përgjigjen tënde me anë të simulimit.

Reaktorët bërthamorë të fisinit

Reaktorët bërthamorë të fisinit janë pajisje në të cilat fisioni bërthamor zhvillohet në mënyrë të kontrolluar kështu që energjia e çliruar shndërrohet gradualisht në nxehtësi dhe më pas në energji elektrike. Në bërthamën e reaktorit ndodhet karburanti bërthamor, në të cilin gjatë çdo fisioni çlirohet energji në formën e energjisë kinetike të fragmenteve të fisinit dhe të rrezatimit. Kjo energji shndërrohet shumë shpejt në nxehtësi brenda materialit të karburantit dhe në rrethinën e tij. Që reaktori të funksionojë në mënyrë të qëndrueshme, duhet të sigurohet një reaksion zinxhiror i vetëqëndrueshëm në regjim afërsisht kritik ($k \approx 1$).

Në rastin e përgjithshëm, reaktori i fisinit ka disa elemente themelore përbërëse. Bërthama e reaktorit është pjesa ku ndodhet karburanti, zakonisht në formën e shufrave të karburantit. Rreth karburantit ndodhet moderatori, roli i të cilit është t'i ngadalësojë neutronet, sepse neutronet e ngadalta (termike) shkaktojnë më lehtë fisinin e disa bërthamave. Në shumë reaktorë, si moderator përdoret uji i zakonshëm.

Reaktori përmban edhe shufra kontrolli, të prodhuara nga materiale që i absorbojnë në mënyrë efikase neutronet, për shembull, bori ose kadmiumi. Me futjen e këtyre shufrave në bërthamën e reaktorit zvogëlohet numri i neutroneve që shkaktojnë fision, ndërsa me nxjerrjen e tyre reaksioni intensifikohet. Nxehtësia nga bërthama përcillet nëpërmjet sistemit të ftohjes deri te gjeneratori i avullit. I gjithë sistemi është i rrethuar me një mbështjellës mbrojtës dhe me mbrojtje biologjike, të cilat parandalojnë emetimin e rrezatimit në mjedis. Të gjitha elementet janë paraqitur në skemën e figurës 3.

Shndërrimi i energjisë bërthamore në energji elektrike zhvillohet sipas një parimi të ngjashëm me atë të termocentraleve. Nxehtësia nga reaktori përdoret për krijimin e avullit të ujit nën presion të lartë, i cili e rrotullon turbinën, ndërsa turbina e vë në lëvizje gjeneratorin elektrik. Pasi kalon nëpër turbinë, avulli ftohet, shndërrohet përsëri në ujë dhe rikthehet në cikël. Prandaj, reaktori nuk është burim i drejtpërdrejtë i energjisë elektrike, por burim nxehtësie.

Është e rëndësishme të theksohet se edhe pas ndalimit të reaksionit zinxhiror, në bërthamën e reaktorit mbetet nxehtësi e mbetur e cila buron nga zbërthimet radioaktive të produkteve të fisionit. Prandaj, sistemet e ftohjes duhet të vazhdojnë të funksionojnë edhe pas fikjes së reaktorit, gjë që përbën një aspekt të rëndësishëm të sigurisë.

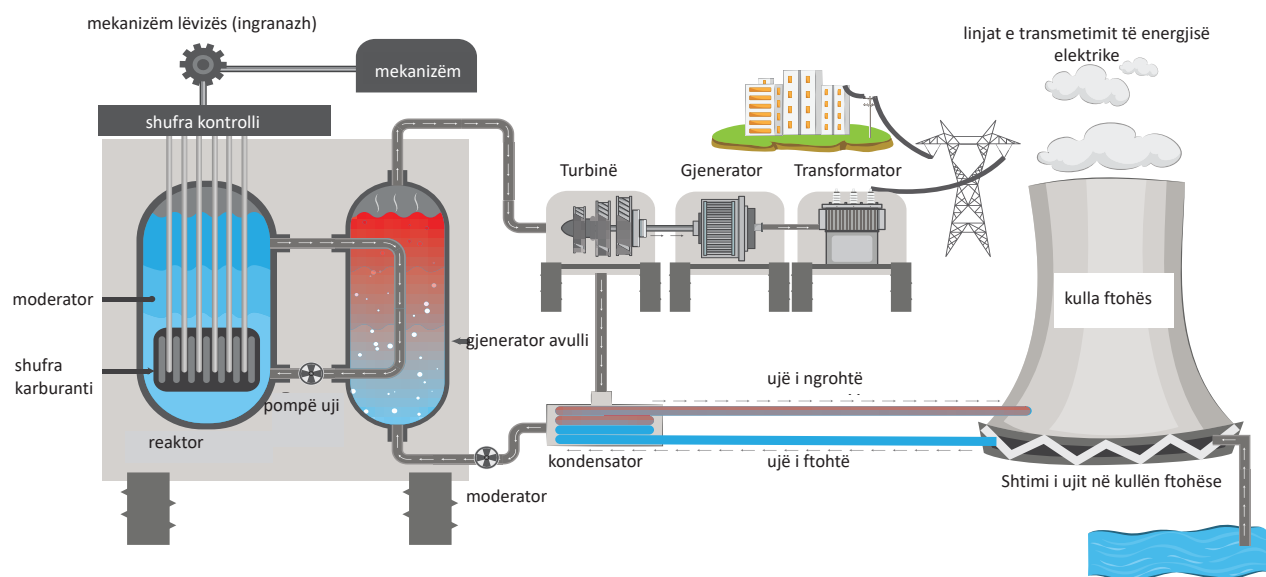


Figura 3. Paraqitje skematike e një centrali elektrik bërthamor me reaktor bërthamor të fisionit.

Fuzioni bërthamor

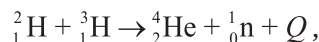
Fuzioni bërthamor është një lloj reaksioni bërthamor gjatë të cilit **bërthamat e lehta atomike bashkohen në një bërthamë më të rëndë**, me ç'rast çlirohet energji. Arsyeja themelore e çlirimit të energjisë është e njëjtë si te fisioni, por lidhet me bërthamat që ndodhen në anën tjetër të lakores së varësisë së energjisë specifike të lidhjes nga numri i masës (figura 2).

Te bërthamat me numër të vogël mase, energjia specifike e lidhjes është e vogël. Me bashkimin e tyre fitohet një bërthamë më e rëndë me **energji specifike më të madhe të lidhjes**, përkatësisht një gjendje energjetikisht më e qëndrueshme. Ndryshimi i energjisë çlirohet si energji e reaksionit bërthamor Q . Me fjalë të tjera, **energjia e përgjithshme e lidhjes së bërthamave fillestare është më e vogël se energjia e lidhjes së bërthamës që fitohet pas fuzionit**.

Në natyrë, fuzioni bërthamor është burimi kryesor i energjisë së yjeve. Nëpërmjet një vargu reaksionesh të fuzionit, Dielli dhe yjet e tjera çlirojnë energji që e ngroh brendësinë e tyre dhe e mban rrezatimin që arrijn deri te planetët. Në këtë mënyrë, fuzioni përbën procesin themelor që furnizon me energji evolucionin dhe qëndrueshmërinë e yjeve.

Fuzioni i deuteriumit dhe i tritiumit

Reaksioni më i rëndësishëm i fuzionit që shqyrtohet për zbatim praktik në Tokë është bashkimi i deuteriumit me tritiumin:



ku me Q shënohet energjia e çliruar. Ky reaksion është veçanërisht i përshtatshëm për zbatim praktik, sepse çliron një sasi të konsiderueshme energjie dhe mund të realizohet në temperaturë më të ulët krahasuar me reaksionet e tjera të fuzionit. Ekzistojnë edhe reaksione të tjera të mundshme të fuzionit, por ato kërkojnë kushte edhe më të rrepta dhe tani për tani janë më të vështira për t'u realizuar praktikisht.

Vështirësia kryesore e përfutimit të energjisë nëpërmjet fuzionit në Tokë është forca dëbuese e Kulonit që vepron ndërmjet bërthamave me ngarkesë pozitive. Që të bashkohen, bërthamat duhet të afrohen në largësi shumë të vogla, ku vepron forca e fortë bërthamore. Kjo kërkon që grimcat të kenë shpejtësi shumë të mëdha, përkatësisht materiali i fuzionit të sillet në gjendjen e plazmës me temperaturë jashtëzakonisht të lartë, të rendit të dhjetëra milionë kelvinëve.

Nga aspekti energjetik, fuzioni ka potencial të jashtëzakonshëm. Deuteriumi mund të përfetohet nga uji, ndërsa tritiumi mund të krijohe brenda vetë reaktorit me ndihmën e litiumit dhe të neutroneve që çlirohen gjatë fuzionit. Ndryshe nga fisioni, reaksioni i fuzionit nuk mund të shndërrohet spontanisht në një reaksion zinxhiror të pakontrolluar, sepse kushtet e nevojshme duhet të ruhen vazhdimisht.

Megjithatë, fuzioni nuk është plotësisht pa probleme radiologjike. Neutronet nga reaksionet e fuzionit mund të krijojnë radioizotope në materialet e reaktorit, prandaj përzgjedhja e materialeve dhe menaxhimi i komponentëve janë aspekte të rëndësishme të sigurisë. Pavarësisht këtyre sfidave, fuzioni bërthamor konsiderohet një nga mundësitë më premtoese për prodhimin e energjisë në të ardhmen.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 2.

Llogarit energjinë që përfetohet nga bashkimi i dy bërthamave të deuteriumit, gjatë të cilit krijohen një bërthamë e heliumit-3 dhe një neutron. Energjia kinetike e bërthamave të deuteriumit të shpërfilllet. Janë dhënë energjia specifike e deuteriumit, 1,112 MeV, dhe energjia specifike e heliumit-3, 2,573 MeV.

Të dhënat:	Zgjidhje:
$\varepsilon({}^2_1\text{H}) = 1,112 \text{ MeV}, \varepsilon({}^3_2\text{He}) = 2,573 \text{ MeV}$	Duke e zgjidhur si në shembullin e mëparshëm, fitohet:
Kërkohet:	$Q = (2m_{j,H} - m_{j,He} - m_n)c^2,$
$Q - ?$	$Q = B({}^3_2\text{He}) - 2B({}^2_1\text{H}) = 3 \cdot \varepsilon({}^3_2\text{He}) - 2 \cdot 2 \cdot \varepsilon({}^2_1\text{H}) = 3,271 \text{ MeV}.$

Pasojat ekologjike të përdorimit të energjisë bërthamore

Analiza ekologjike e energjisë bërthamore duhet t'i shqyrtojë si përfitimet, ashtu edhe rreziqet e përdorimit të saj. Gjatë funksionimit normal, centralet bërthamore kanë emetime të drejtpërdrejta shumë të vogla të dioksidit të karbonit, sepse energjia elektrike nuk përfetohet nëpërmjet djegies së lëndëve djegëse fosile. Centralet bërthamore shpesh konsiderohen si teknologji që mund të kontribuojë në zvogëlimin e emetimeve të gazeve serrë dhe në zbutjen e ndryshimeve klimatike. Përveç kësaj, centralet bërthamore sigurojnë prodhim të qëndrueshëm dhe të vazhdueshëm të energjisë elektrike, pavarësisht nga kushtet atmosferike, gjë që është e rëndësishme për sigurinë e rrjetit elektroenergjetik.

Nga ana tjetër, përdorimi i energjisë bërthamore lidhet me sfida të veçanta ekologjike dhe të sigurisë. Më e rëndësishmja ndër to është krijimi i mbetjeve radioaktive, të cilat kërkojnë ruajtje të kujdesshme, afatgjatë dhe të sigurt. Rrezik shtesë paraqet mundësia e kontaminimit radiologjik gjatë aksidenteve serioze,

megjithëse ato janë të rralla dhe reaktorët bashkëkohorë projektohen sipas standardeve të larta të sigurisë. Gjithashtu, centralet bërthamore përdorin sasi të mëdha uji për ftohje, gjë që mund të ketë ndikime lokale në ekosistemet ujore, për shembull, nëpërmjet ngrohjes së tyre.

Në kontekstin e furnizimit të qëndrueshëm me energji elektrike, energjia bërthamore shpesh vlerësohet si një teknologji që mundëson përfitim të një sasi të madhe energjie nga një masë e vogël karburanti, me emetime të ulëta të drejtpërdrejta të gazeve serrë, por që kërkon rregullore të rrepta, standarde teknike dhe mbikëqyrje të vazhdueshme. Roli i saj në sistemin energjetik të së ardhmes varet nga mënyra se si shoqëria do ta vendosë ekuilibrin ndërmjet prodhimit të qëndrueshëm dhe emetimeve të ulëta, nga njëra anë, dhe sfidave që lidhen me mbetjet, sigurinë dhe pranimin publik, nga ana tjetër. Prandaj, qasja bashkëkohore ndaj energjisë bërthamore nënkupton zhvillimin e njëkohshëm të teknologjive të sigurisë, menaxhimin e përgjegjshëm të mbetjeve dhe integrimin me burimet e ripërtëritshme të energjisë, me qëllim arritjen e një sistemi energjetik të sigurt dhe ekologjikisht të pranueshëm.



MËSO MË SHUMË

Gjatë reaksionit të fuzionit të deuteriumit dhe të tritiumit, pjesa më e madhe e energjisë së çliruar paraqitet si energji kinetike e neutronit. Kjo ka rëndësi të madhe nga pikëpamja inxhinierike dhe e sigurisë. Neutronet kanë fuqi të madhe depërtuese, i ngrohin materialet dhe mund të krijojnë izotope radioaktive nga bërthamat e qëndrueshme. Prandaj, sistemet e fuzionit duhet të pajisen me mbrojtje të përshtatshme dhe me materiale rezistente ndaj dëmtimeve të shkaktuara nga neutronet.

Në yje, kushtet për fuzion arrihen për shkak të ngjeshjes së jashtëzakonshme gravitacionale dhe dendësisë së lartë të materies. Në Tokë nuk është e mundur të arrihet një ngjeshje e tillë, prandaj plazma duhet të krijohet dhe të mbahet artificialisht me metoda të tjera. Përveç kësaj, edhe kur arrihen kushtet e nevojshme për fuzion, duhet të sigurohet që nga reaksionet të përfitohet më shumë energji sesa shpenzohet për ngrohjen dhe mbajtjen e plazmës. Ky është kushti themelor për leverdishmërinë energjetike të reaktorëve të fuzionit.

Për shkak të këtyre sfidave, kërkimet për fuzionin e kontrolluar në Tokë zhvillohen në dy drejtime kryesore. Drejtimi i parë është mbajtja magnetike e plazmës. Meqenëse plazma përbëhet nga grimca të ngarkuara, ajo mund të mbahet dhe të drejtohet me fusha të fuqishme magnetike. Për këtë qëllim përdoren pajisje si tokamaku (figura 4) dhe stellaratori, në të cilat plazma mbahet e ndarë nga muret e dhomës së vakuumit. Në këtë mënyrë parandalohet ftohja e saj e menjëhershme dhe mundësohet që reaksionet e fuzionit të zhvillohen për një kohë mjaft të gjatë.

Drejtimi i dytë është mbajtja inerciale e plazmës, gjatë së cilës një pelet i vogël karburanti për fuzion ngjeshet shumë shpejt me impulse të fuqishme laserike. Reaksioni zgjat jashtëzakonisht pak, por në atë çast temperatura dhe dendësia bëhen mjaft të larta që të ndodhë fuzioni.

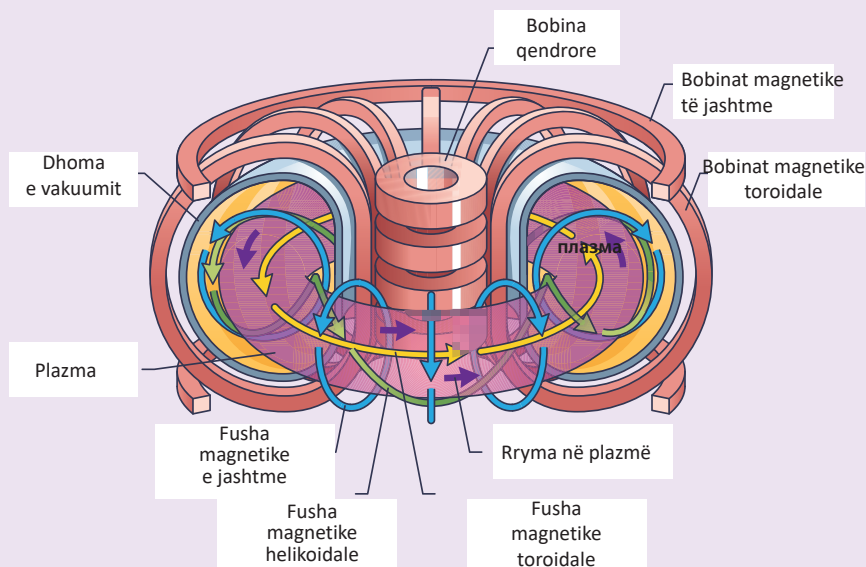


Figura 4. Pjesët përbërëse të reaktorit të fuzionit tokamak. Nëpërmjet kombinimit të disa fushave të ndryshme magnetike, plazma mbahet në pjesën qendrore të dhomës së vakuumit.



PYETJE DHE DETYRA

1. Shpjego arsyen fizike pse energjia mund të fitohet si gjatë bashkimit, ashtu edhe gjatë ndarjes së bërthamave.
2. Pse fisioni zakonisht shkaktohet me neutrone dhe jo me protone?
3. Pse në reaktorë përdoren shufra kontrolli? Çfarë do të ndodhë nëse ato nxirren me shpejtësi nga bërthama e reaktorit?
4. Pse reaktori duhet të ftohet edhe pas ndalimit të reaksionit zinxhiror? Nga se shkaktohet „nxehhtësia e mbetur“?
5. Jep dhe shpjego nga një shembull të përfitimit dhe të rrezikut nga përdorimi i centraleve bërthamore në sistemin energjetik.
6. Pse një reaktor fuzioni nuk mund të „shpërthejë“ nëpërmjet një reaksioni zinxhiror klasik si te fisioni? Cilat kushte duhet të ruhen vazhdimisht që të zhvillohet fuzioni?
7. Nëse gjatë një gjenerate të fuzionit çlirohen 1000 neutrone, përcakto numrin e neutroneve të çliuara pas 8 gjeneratash, nëse dihet se: $k = 2$. (Zgjidhja: 128000)

4.13. Dozimetria dhe madhësitë dozimetrike

Gjatë kalimit nëpër materie, rrezatimi jonizues bashkëvepron me atomet dhe molekulat, duke i transmetuar mjedisit material një pjesë ose të gjithë energjinë e vet. Ky transmetim i energjisë shkakton jonizimin dhe ngacmimin e atomeve dhe të molekulave. Te rrezatimi i përbërë nga grimca të ngarkuara, si grimcat α dhe β , energjia transmetohet kryesisht nëpërmjet përplasjeve të drejtpërdrejta me elektronet e atomeve të mjedisit. Gjatë këtyre përplasjeve ndodh jonizimi dhe ngacmimi i atomeve dhe i molekulave të mjedisit, duke krijuar çifte jonike dhe elektrone të lira përgjatë trajektores së grimcës.

Te rrezatimi fotonik, ku bëjnë pjesë kuantet γ dhe rrezet rentgen, energjia transmetohet nëpërmjet tri proceseve themelore:

Efekti fotoelektrik, gjatë të cilit fotoni shkëput një elektron nga atomi;

Shpërndarja e Komptonit, gjatë së cilës fotoni i transmeton elektronit një pjesë të energjisë së vet dhe ndryshon drejtimin e përhapjes (figura 1);



Figura 1. Paraqitje skematike e shpërndarjes së Komptonit

Bashkëveprimi me bërthamën (krijimi i çiftit), gjatë të cilit fotoni zhduket dhe krijohet një çift elektron–pozitron. Ky proces është i mundur vetëm kur fotonet kanë energji mjaft të lartë.

Neutronet nuk jonizojnë drejtpërdrejt, sepse nuk kanë ngarkesë elektrike.

Në vend të kësaj, neutronet ua transmetojnë energjinë e tyre bërthamave atomike gjatë përplasjeve ose përthithjes. Gjatë bashkëveprimeve të tilla mund të krijohen grimca sekondare të ngarkuara, për shembull protone ose grimca α , të cilat më pas shkaktajnë jonizimin e materies.

Në organizmat e gjallë, këto procese fizike mikroskopike shkaktajnë ndryshime në nivel molekular, të cilat mund t'i dëmtojnë qelizat dhe indet. Kur rrezatimi jonizues kalon nëpër indin biologjik, ai krijon jone dhe molekula të ngacmuara përgjatë trajektoreve të vet. Këto produkte parësore të rrezatimit paraqesin fillimin e një vargu reaksionesh kimike që zhvillohen gjatë intervaleve kohore jashtëzakonisht të shkurtra.

Nëse rrezatimi e depoziton energjinë e vet në biomolekula kritike, mund të ndodhin ndryshime strukturore, si këputja e lidhjeve kovalente, modifikimi i grupeve funksionale, krijimi i lidhjeve kimike jonormale dhe dëmtimi lokal i përbërësve qelizorë. Fjala „depoziton“ tregon se energjia e rrezatimit i është transmetuar materies. Veçanërisht të rëndësishme janë dëmtimet e acidit deoksiribonukleik (ADN), sepse ai mbart informacionin gjenetik dhe dëmtimi i tij mund të ketë pasoja biologjike afatgjata.

Kur rrezatimi jonizon ose ngacmon drejtpërdrejt një molekulë që është pjesë e ADN-së, atëherë flasim për veprim të drejtpërdrejtë. Në këtë rast mund të ndodhin modifikime të bazave, këputja e njërit varg polinukleotidik ose, në raste më të rënda, këputja e të dy vargjeve (figura 2).

Dëmtimet mund të shkaktohen edhe në mënyrë të tërthortë. Veprimi i tërthortë është mbizotërues në indet me përmbajtje të lartë uji. Gjatë rrezatimit ndodh procesi i radiolizës, përkatësisht zbërthimi i ujit nën veprimin e rrezatimit jonizues (figura 3).

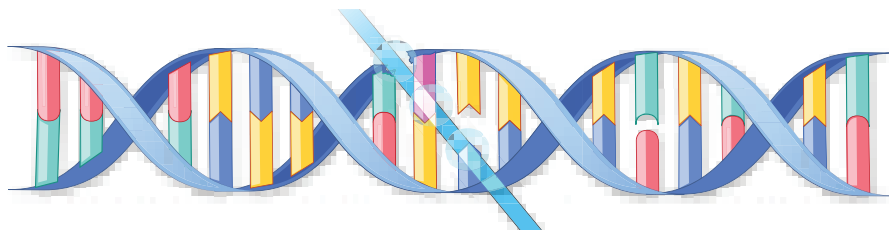


Figura 2. Rrezatimi jonizues shkakton këputjen e vargut polinukleotidik dhe të lidhjeve të hidrogjenit ndërmjet bazave.

Me këtë rast krijohen grimca kimike reaktive, të quajtura radikale të lira, të cilat kanë aftësi të theksuar për të reaguuar kimikisht me biomolekulat. Këto radikale mund të reagojnë me ADN-në, membranat qelizore ose proteinat dhe të shkaktojnë dëmtime oksiduese. Në këtë mënyrë, rrezatimi mund të shkaktojë efekt biologjik edhe pa e dëmtuar drejtpërdrejt ADN-në, nëpërmjet proceseve kimike në ujë si mjedis.

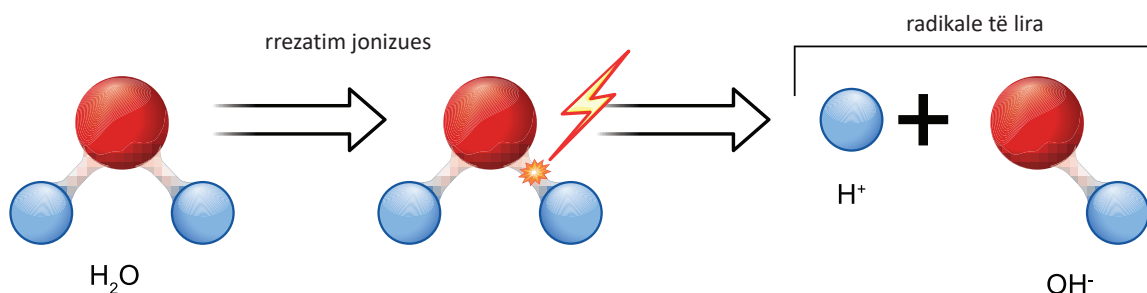


Figura 3. Paraqitje skematike e krijimit të radikaleve të lira nga një molekulë uji

Efektet biologjike të rrezatimit jonizues varen nga:

- sasia e energjisë që rrezatimi depoziton në njësi mase;
- lloji i rrezatimit;
- mënyra se si energjia depozitohet në ind.

Për krahasimin e efekteve jonizuese të llojeve të ndryshme të rrezatimit përcaktohet nocioni i jonizimit specifik, i cili tregon sa çifte jonike krijohen gjatë kalimit të rrezatimit nëpër një gjatësi të caktuar (figura 4). Grimcat alfa kanë jonizim specifik të madh: ato krijojnë një numër të madh çiftesh jonike në një vëllim të vogël, përgjatë një trajektoreje të shkurtër. Prandaj, rrezatimi alfa shkakton më lehtë dëmtime të rënda biologjike, si dëmtimet e grupuara dhe këputjet e dyfishta të ADN-së. Për krahasim, rrezet γ dhe rentgen kanë jonizim specifik më të vogël. Megjithatë përshtojnë një rrugë më të gjatë nëpër ind, ato krijojnë më pak çifte jonike, prandaj dëmtimet zakonisht janë më të izoluar dhe më lehtë të riparueshme.

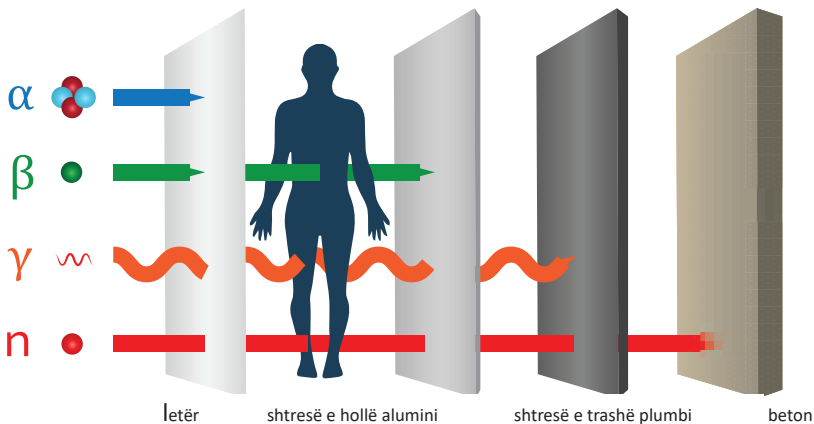


Figura 4. Llojet e ndryshme të rrezatimit mund

Për vlerësimin praktik të ndikimit të rrezatimit përcaktohen madhësi fizike që marrin parasysh jonizimin specifik, llojin e rrezatimit dhe ndjeshmërinë e indit të ekspozuar. Për shembull, ekspozimi i vogël i jashtëm ndaj rrezatimit α zakonisht nuk është i rëndësishëm për shkak të fuqisë së tij të vogël depërtuese. Megjithatë, nëse një emetues α hyn në organizëm nëpërmjet frymëmarrjes ose ushqimit, energjia depozitohet në indet e ndjeshme brenda një largësie shumë të vogël dhe rreziku mund të jetë i konsiderueshëm. Nga ana tjetër, rrezatimi γ ka fuqi shumë të madhe depërtuese dhe gjatë ekspozimit të jashtëm mund të veprojë në disa inde dhe organe (figura 4).

Prandaj, vlerësimi i rrezikut nga rrezatimi jonizues duhet të marrë gjithmonë parasysh energjinë e përgjithshme të depozituar, llojin e rrezatimit, gjeometrinë e ekspozimit dhe ndjeshmërinë biologjike të indit të ekspozuar. Për këtë qëllim përcaktohen **madhësitë dozimetrike**, me të cilat përshkruhet doza e rrezatimit që merr organizmi. Kur ekziston një madhësi fizike që mund të matet, rregullat e mbrojtjes nga rrezatimi jonizues bëhen të qarta dhe mundësojnë një nivel më të lartë sigurie.

Madhësitë dozimetrike – si e përshkruajmë „dëmin“ nga rrezatimi?

Kur rrezatimi jonizues kalon nëpër një mjedis, energjia e tij nuk zhduket, por i transmetohet materialit të mjedisit. Në nivel mikroskopik, kjo energji shpenzohet për jonizimin dhe ngacmimin e atomeve dhe të molekulave. Në nivel makroskopik, kjo do të thotë se një pjesë e energjisë së rrezatimit depozitohet në trupin ose në materialin nëpër të cilin kalon. Hapi i parë dhe më themelor në dozimetri është t'i përgjigjemi një pyetjeje të thjeshtë: Sa energji është transmetuar dhe në çfarë mase?

Doza e absorbuar

Doza e absorbuar është madhësi fizike themelore në dozimetri, sepse me të përcaktohet se sa energji nga rrezatimi jonizues transmetohet (depozitohet) në materie, pa marrë parasysh se cili lloj rrezatimi e ka transmetuar atë energji dhe cili do të jetë efekti biologjik. Doza e absorbuar $\overline{\Delta E}$ përkufizohet si herësi ndërmjet energjisë mesatare që rrezatimi jonizues ia transmeton materies në një vëllim të vogël të caktuar dhe masës Δm të atij vëllimi:

$$D = \frac{\overline{\Delta E}}{\Delta m} .$$

Njësia e dozës së absorbuar është grej (Gy). Një grej do të thotë se një masë prej 1 kg i është transmetuar energji prej 1 J.

Kjo vlerë mund të duket e vogël nëse e shqyrtojmë në nivel makroskopik, por në radiobiologji duhet pasur parasysh se 1 J në nivel mikroskopik i përgjigjet një numri jashtëzakonisht të madh jonizimesh, të shpërndara përgjatë trajektoreve të grimcave ose të fotoneve nëpër ind.

Doza e absorbuar mund të përkufizohet dhe të matet për materiale të ndryshme, si ajri, uji, indet dhe metalet, si dhe për lloje të ndryshme rrezatimi. Megjithatë, duhet të theksohet se e njëjta dozë e absorbuar nuk shkakton domosdoshmërisht të njëjtin efekt biologjik nëse është shkaktuar nga lloje të ndryshme rrezatimi. Prandaj, doza e absorbuar është madhësia e parë dozimetrike, mbi bazën e së cilës përcaktohen më pas madhësi të tjera dozimetrike, si doza ekuivalente dhe doza efektive. Ato marrin parasysh dallimet në efikasitetin biologjik, përkatësisht sa të fuqishëm janë efektet biologjike që shkaktojnë rrezatimet e ndryshme jonizuese për të njëjtën dozë të absorbuar.

Pse doza e absorbuar nuk është e mjaftueshme si madhësi e vetme dozimetrike? Përfytyro dy situata:

- një ind është i ekspozuar ndaj rrezatimit alfa;
- i njëjti ind është i ekspozuar ndaj rrezatimit gama, por në të dyja rastet doza e absorbuar është e njëjtë.

Megjithëse energjia e depozituar në njësi mase është e njëjtë, pasojat biologjike mund të jenë shumë të ndryshme. Arsyeja qëndron në mënyrën se si depozitohet energjia. Grimcat alfa krijojnë një numër shumë të madh çiftesh jonike në një hapësirë shumë të vogël, ndërsa rrezet gama e depozitojnë energjinë në një largësi më të madhe.

Prandaj, gjatë vlerësimit të rrezikut duhet të merret parasysh **lloji i rrezatimit** dhe jo vetëm energjia e përgjithshme..

Doza ekuivalente

Për të marrë parasysh efikasitetin e ndryshëm biologjik të llojeve të ndryshme të rrezatimit, në mbrojtjen nga rrezatimi përcaktohet madhësia e quajtur dozë ekuivalente. Doza ekuivalente e lidh dozën e absorbuar me faktorin e cilësisë, i cili shpreh efikasitetin relativ biologjik të një lloji të caktuar rrezatimi. Ky faktor është një numër pa dimensionë dhe varet nga intensiteti me të cilin rrezatimi jonizon përgjatë trajektores së vet dhe nga probabiliteti që të shkaktojë dëmtime komplekse, si këputjet e dyfishta të ADN-së.

Doza ekuivalente në indin ose organin T shënohet me H_T dhe përkufizohet si prodhimi i dozës së absorbuar në atë organ dhe i faktorit të cilësisë për rrezatimin jonizues ω_R i cili është madhësi pa dimensionë. Nëse indi ose organi është i ekspozuar ndaj një lloji rrezatimi, doza ekuivalente është:

$$H_T = \omega_R D_{T,R}.$$

Nëse organi ose indi është i ekspozuar ndaj disa llojeve të rrezatimit, mbledhen kontributet e secilit lloj rrezatimi:

$$H_T = \omega_{R1} D_{T,R1} + \omega_{R2} D_{T,R2} + \dots,$$

ku $D_{T,R1}$, $D_{T,R2}$ janë dozat e absorbuara në indin ose organin T, të shkaktuara nga rrezatimet e ndryshme R1, R2, ndërsa ω_{R1} , ω_{R2} janë faktorë pa dimensionë që shprehin efikasitetin relativ biologjik të secilit lloj rrezatimi. Njësia e dozës ekuivalente është siverti 1Sv = 1J/kg.

Megjithëse doza e absorbuar dhe doza ekuivalente kanë të njëjtën njësi bazë, J/kg, kuptimi i tyre është thelbësisht i ndryshëm. Për shembull, e njëjta dozë e absorbuar nga rrezatimi alfa dhe nga rrezatimi gama do të japë dozë ekuivalente shumë më të madhe për rrezatimin alfa. Si ilustrim, faktori i cilësisë për rrezatimet e ndryshme jonizuese është dhënë në tabelën 1.

Tabela 1. Faktori i cilësisë për rrezatimet e ndryshme jonizuese. Faktori i cilësisë për rrezatimin neutronik varet nga energjia e neutroneve.

Lloji i rrezatimit jonizues	Faktori i cilësisë
Fotone (reze rentgen dhe gama)	1
Elektrone	1
Protone	2
Grimca α , fragmente të fisionit, jone të rënda	20
Neutrone	5-20

Megjithatë, doza ekuivalente nuk është madhësia përfundimtare gjatë vlerësimit të rrezikut për njeriun në tërësi. Arsyeja është se organet dhe indet e ndryshme nuk kanë të njëjtën ndjeshmëri ndaj rrezatimit: dëmtimi i palcës së kockave ose i indeve me ndarje intensive qelizore, mesatarisht, paraqet rrezik më të madh për shfaqjen e kancerit sesa e njëjta dozë ekuivalente në disa inde më pak të ndjeshme, për shembull në lëkurë. Prandaj përcaktohet doza efektive, e cila merr parasysh si llojin e rrezatimit, ashtu edhe ndjeshmërinë e indeve.

Doza efektive

Doza efektive në një ind ose organ shënohet me E_T dhe përkufizohet si prodhimi i dozës ekuivalente H_T për atë ind ose organ, i cili është madhësi pa dimensione ω_T për atë ind ose organ, i cili është madhësi pa dimensione:

$$E_T = \omega_T H_T.$$

Nëse disa inde ose organe janë të ekspozuara ndaj rrezatimit jonizues, atëherë doza e përgjithshme efektive është e barabartë me shumën e dozave efektive të organeve të veçanta:

$$E_T = \omega_{T1} H_{T1} + \omega_{T2} H_{T2} + \dots$$

ku H_{T1} , H_{T2} janë dozat ekuivalente në indet ose organet T1, T2..., ndërsa ω_{T1} , ω_{T2} , janë faktorët biologjikë të modifikimit për indet e ndryshme. Njësia e dozës efektive është siverti (Sv) $1\text{Sv} = 1\text{J/kg}$.

Kuptimi praktik i dozës efektive është si vijon: ajo është madhësia e vetme që shërben për krahasimin e situatave të ndryshme të ekspozimit të të gjithë trupit ose të disa organeve dhe përdoret në sistemet e mbrojtjes nga rrezatimi, për shembull, gjatë përcaktimit të kufijve të lejuar, vlerësimit të ekspozimit gjatë procedurave diagnostikuese dhe vlerësimit të rrezikut gjatë aksidenteve radiologjike. Është e rëndësishme të theksohet se doza efektive nuk është „dozë në një organ të caktuar“, por masë e rrezikut të përgjithshëm për njeriun, e përfutur nga dozat në organe, duke marrë parasysh llojin e rrezatimit dhe ndjeshmërinë e indeve ose të organeve. Në tabelën 2 janë dhënë faktorët biologjikë të modifikimit për disa organe.

Tabela 2. Faktorët biologjikë të modifikimit për disa organe të njeriut

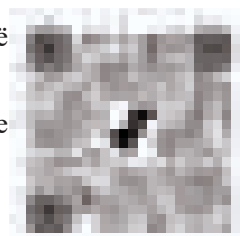
Organi	Faktori biologjik i modifikimit
Lëkura	0,01
Truri	0,01
Gjëndra tiroide	0,04
Organet riprodhuese	0,08
Mushkëritë	0,12
Palca e kockave	0,12

të jetë faktori biologjik i modifikimit, aq më e madhe është ndjeshmëria e indit ose e organit. Shuma e faktorëve biologjikë të modifikimit për të gjitha organet është e barabartë me 1.

Me përcaktimin e dozës së absorbuar, dozës ekuivalente dhe dozës efektive, rrezatimi jonizues pushon së qeni një rrezik abstrakt. Ai bëhet një dukuri që mund të përcaktohet në mënyrë sasiore, të trajtohet, të përdoret për krahasimin e situatave të ndryshme dhe për vendosjen e rregullave

të qarta të mbrojtjes. Animacionet që i krahasojnë këto tri madhësi të ndryshme mund të gjenden në lidhjen vijuese: https://remm.hhs.gov/dose_animations.htm

Sapo të ekzistojë një madhësi fizike që mund të matet, ekziston edhe mundësia e kontrollit, krahasimit dhe parandalimit, gjë që përbën bazën e mbrojtjes nga rrezatimi.



SHEMBULL I ZGJIDHUR 1.

Gjatë një ekzaminimi me rreze rentgen (fotone), në mushkëri depozitohet energji prej $5,0 \cdot 10^{-4}$ J në një masë indi prej 0,20 kg. në një masë indi prej 0,20 kg. Duke përdorur vlerat përkatëse të faktorit të cilësisë dhe të faktorit biologjik të modifikimit për indin/organin nga tabelat 1 dhe 2, llogarit dozën e absorbuar, dozën ekuivalente dhe dozën efektive në mushkëri.

Të dhënat : $\Delta E = 5,0 \cdot 10^{-4}$ J , $m = 0,20$ kg , $w_R = 1$, $w_T = 0,12$	Zgjidhje: a) Doza e absorbuar: $D = \frac{\Delta E}{m} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ J/kg} = 2,5 \text{ mGy} .$ b) Doza ekuivalente në mushkëri: $H_T = w_R \cdot D = 2,5 \text{ mSv} .$ c) Doza efektive (kontributi i mushkërive): $E_T = w_T \cdot H_T = 0,30 \text{ mSv} .$
Kërkohet: a) $D - ?$, b) $H_T - ?$ c) $E_T - ?$	

Ekspozimi ndaj rrezatimit jonizues

Njerëzit janë vazhdimisht të ekspozuar ndaj sfondit natyror radioaktiv, përkatësisht ndaj rrezatimit që ekziston në mjedis dhe nuk varet nga veprimtaria njerëzore. Dy burimet kryesore janë rrezatimi kozmik dhe radionuklidet natyrore në koren e Tokës. Rrezatimi kozmik mbërrin nga hapësira kozmike, nga Dielli dhe nga burimet kozmike jashtë Sistemit diellor, dhe gjatë hyrjes në atmosferë krijon grimca dytësore jonizuese që arrijnë deri në sipërfaqen e Tokës. Ekspozimi ndaj këtij lloji të rrezatimit jonizues rritet me lartësinë mbidetare dhe gjatë fluturimeve me aeroplan.

Materialet radioaktive në tokë, si uraniumi, toriumi dhe bërthamat e tyre pasardhëse, si dhe ^{40}K) emetojnë rrezatim α , β dhe γ . Burim natyror veçanërisht i rëndësishëm i rrezatimit është radoni, gaz që krijohet në vargun radioaktiv të uraniumit, sepse mund të grumbullohet në hapësira të mbyllura dhe të japë kontribut të konsiderueshëm në dozën e përgjithshme natyrore që merr njeriu. Në nivel global, sfondi natyror është mesatarisht disa mSv në vit, me ndryshime të mëdha në varësi të gjeologjisë dhe të kushteve të jetesës.

Përveç sfondit natyror, njeriu mund të ekspozohet edhe ndaj burimeve artificiale të rrezatimit. Disa prej tyre janë pasojë e aksidenteve bërthamore radiologjike, si ato në Çernobil të Ukrainës më 1986 dhe në Fukushima Daiçi të Japonisë më 2011. Gjatë ngjarjeve të tilla, materialet radioaktive mund të çlirohen në atmosferë dhe të përhapen në largësi të mëdha nga vendi i aksidentit. Ekspozimi mund të jetë i jashtëm, nga radioizotopet e depozituara në tokë, ose i brendshëm, nëpërmjet frymëmarrjes dhe konsumimit të ushqimit dhe të ujit. Gjatë një aksidenti radiologjik zbatohen masa të tilla si evakuimi, kontrolli i ushqimit dhe kufizimi i qëndrimit në zonat e kontaminuara.

Megjithatë, në kushte paqeje, burimi artificial më i rëndësishëm i ekspozimit të popullsisë janë ekzaminimet dhe procedurat mjekësore që përdorin rrezatim jonizues. Këtu përfshihen ekzaminimet me rreze rentgen, tomografia e kompjuterizuar, radiologjia intervenuese dhe mjekësia bërthamore.

Këto procedura kanë vlerë të madhe diagnostikuese dhe terapeutike, por secila prej tyre mbart një dozë të caktuar, e cila varet nga lloji i ekzaminimit dhe nga parametrat e aparatit. Prandaj, parimet bashkëkohore të mbrojtjes nga rrezatimi në mjekësi bazohen në arsyeshmëri, ku ekzaminimi kryhet vetëm nëse përfitimi është më i madh se rreziku, dhe në optimizim, ku doza duhet të jetë „sa më e ulët që është e arsyeshme dhe e mundur“ për të përfutur informacionin e nevojshëm.

ALARA – parimi i optimizimit në mbrojtjen nga rrezatimi

Në mbrojtjen nga rrezatimi nuk mjafton që ekspozimi të jetë nën kufijtë ligjorë. Zbatohet edhe parimi ALARA (As Low As Reasonably Achievable), sipas të cilit ekspozimi duhet të mbahet në nivelin më të ulët që mund të arrihet në mënyrë të arsyeshme, duke marrë parasysh faktorët teknikë, ekonomikë dhe shoqërorë, pa cenuar qëllimin e veprimtarisë.

Në praktikë, parimi ALARA realizohet nëpërmjet:

- zvogëlimit të kohës së ekspozimit;
- rritjes së largësisë nga burimi;
- përdorimit të materialeve mbrojtëse (ekranimit);
- përzgjedhjes së teknikës dhe të parametrave të përshtatshëm;
- kontrollit të kontaminimit;
- monitorimit të rregullt dozimetrik.



Figura 5. Shenja me të cilën shënohen burimet e rrezatimit jonizues, kontejnerët ku ruhen substancat radioaktive dhe hapësirat ku ka burime të rrezatimit jonizues

Kufijtë e dozës

Kufijtë e dozës (dozat maksimale që mund të merren) përcaktohen për ekspozimet e planifikuara, (si puna me burime, industria dhe kërkimet) dhe shërbejnë për kufizimin e rrezikut. Kufiri më i rëndësishëm është ai i dozës efektive, e cila paraqet rrezikun e përgjithshëm nga ekspozimi i organizmit. Për popullsinë e përgjithshme, (personat që nuk punojnë profesionalisht me burime jonizuese), kufiri i dozës efektive është $E \leq 1 \text{ mSv/a}$, me mundësinë që në „rrethana të veçanta“ të lejohet një dozë më e lartë gjatë një viti, nëse vlera mesatare gjatë një periudhe shumëvjeçare mbetet brenda këtij kufiri.

Shpesh përcaktohen edhe kufij për dozën ekuivalente në inde dhe organe, për shembull në lëkurë dhe në thjerrëzën e syrit, të rendit të dhjetëra mSv në vit për publikun. (shembull, kufiri për thjerrëzën e syrit është 15 mSv/a, ndërsa për lëkurën 50 mSv/a. Kufiri i dozës efektive për punonjësit e ekspozuar profesionalisht $E \leq 20 \text{ mSv/a}$, përcaktohet si vlerë mesatare për pesë vjet të njëpasnjëshme (që do të thotë se doza duhet të jetë më e vogël se 100 mSv gjatë pesë vjetëve), ndërsa gjatë një viti nuk duhet të tejkalojë 50 mSv/a.

Kufijtë e dozës nuk zbatohen për pacientin kur ekspozimi është i arsyeshëm nga pikëpamja mjekësore (gjatë diagnostikimit ose terapisë), sepse qëllimi është përfitimi shëndetësor. Megjithatë, kufijtë e dozës vlejné për personelin mjekësor që punon profesionalisht me burime rrezatimi.

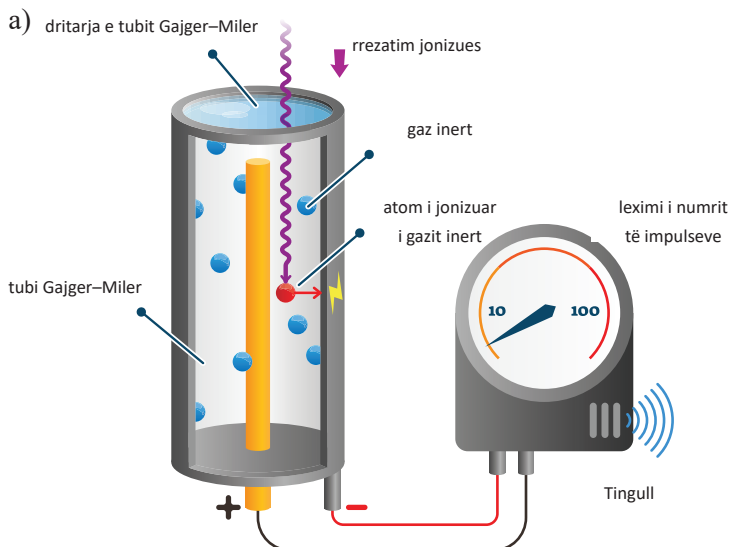


MËSO MË SHUMË

Numëruesi Gajger–Miler është një nga detektorët më të përhapur të rrezatimit jonizues dhe përbëhet nga tubi Gajger–Miler (një diodë e përbërë nga katoda dhe anoda) si dhe nga qarku elektronik për furnizim dhe numërim të impulseve. Tubi përbëhet nga një katodë cilindrike metalike dhe një anodë e hollë, e cila ndodhet në mesin e tij. Ai është i mbushur me gaz të rralluar, zakonisht argon, dhe me një sasi të vogël gazi për shuarjen e shkarkimit të vetëqëndrueshëm, që zakonisht është alkool. Kur rrezatimi jonizues kalon nëpër tub, ai krijon çifte jonike primare në gaz. Në veprimin e fushës së fuqishme elektrike, elektronet përshpejtohen drejt anodës dhe shkaktojnë jonizim të njëpasnjëshëm, me ç'rast krijohet një

impuls i shkurtër elektrik. Te numëruesit Gajger, impulsët e rrymës kanë përafërsisht të njëjtën madhësi, pavarësisht nga energjia fillestare e grimcës. Prandaj, numëruesi zakonisht numëron ngjarjet, përkatësisht sa grimca ose fotone janë detektuar, por nuk e mat energjinë e grimcave.

Numëruesi Gajger–Miler përdoret për detektimin dhe monitorimin e rrezatimit në laboratorë, në industri dhe në shërbimet e mbrojtjes nga rrezatimi. Për shembull, përdoret për kontrollimin e kontaminimit të sipërfaqeve, matjen orientuese të intensitetit të rrezatimit të një burimi të caktuar, kontrollimin e mjedisit të punës dhe lokalizimin e shpejtë të burimit të rrezatimit. Zakonisht është pjesë përbërëse e pajisjeve portative që në të folurin e përditshëm i quajmë dozimetra, por këtu është e rëndësishme të dallohen instrumentet e ndryshme matëse. Në kuptimin e ngushtë, dozimetri është pajisje që mat shpejtësinë e dozës, përkatësisht dozën efektive që merr njeriu në njësi kohe. Ndërsa numëruesi Gajger–Miler mat intensitetin e rrezatimit, përkatësisht numrin e grimcave që bien mbi sipërfaqen e tubit. Nëpërmjet kalibrimit (duke njohur energjinë e rrezatimit, zakonisht për rrezatimin gama dhe rentgen) mund të matet përafërsisht shpejtësia e dozës. Prandaj, dozimetrat me tub Gajger–Miler janë shumë të dobishëm për vlerësim të shpejtë dhe alarmim. Megjithatë, për dozimetri të saktë dhe përcaktimin e llojit të rrezatimit zakonisht përdoren edhe detektorë të tjerë: dhoma jonizuese, detektorë scintilues ose detektorë gjysmëpërçues, në varësi të qëllimit të matjes.



b)



Figura 5. a) Paraqitje skematike e tubit Gajger–Miler b) Dozimetrë me tub Gajger–Miler



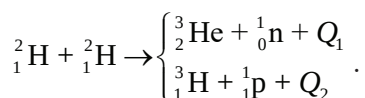
PYETJE DHE DETYRA

1. Çfarë do të thotë se rrezatimi jonizues „depoziton energji“ në materie?
2. Përmendi tri mekanizmat kryesorë të bashkëveprimit të fotoneve (rrezeve rentgen/gama) me materien dhe shpjego se si ndryshojnë ndërmjet tyre.
3. Pse neutronet konsiderohen rrezatim jonizues i tërthortë?
4. Pse e njëjta dozë e absorbuar mund të shkaktojë efekte të ndryshme biologjike për rrezatimin α dhe γ ?
5. Shpjego parimin ALARA me një shembull nga diagnostikimi mjekësor.
6. Lëkura është e ekspozuar ndaj rrezatimit jonizues që ka dy përbërës: rrezatim alfa dhe rreze gama. Doza e absorbuar nga rrezet gama është 2,0 mGy, ndërsa doza e absorbuar nga rrezatimi alfa është 0,1 mGy. Sa janë doza ekuivalente dhe doza efektive që merr lëkura? Të dhënat e nevojshme të merren nga tabelat 1 dhe 2. (Zgjidhja: 0,040 mSv)

Tema 4: PYETJE DHE DETYRA

1. Dy yje rrezatojnë si trupa absolutisht të zinj dhe emetojnë sasi të barabartë energjie në njësi kohe nga sipërfaqet e tyre. Ylli më i ftohtë ka temperaturë sipërfaqësore T dhe diametër dy herë më të madh se ai i yllit më të nxehtë.
 - a) Shprehe temperaturën e yllit më të nxehtë nëpërmjet temperaturës së yllit më të ftohtë.
 - b) Përcakto raportin ndërmjet gjatësive valore në të cilat intensiteti spektral i rrezatimit të secilit yll është maksimal. (Zgjidhja: $T_1 = \sqrt{2}T$; b) $\lambda_1 = (1/\sqrt{2})\lambda$)
2. Për një vlerë të caktuar të potencialit frenues ndërpritet rrjedhja e rrymës fotoelektrike nga sipërfaqja e litiumit, e cila ndriçohet me dritë me gjatësi valore λ_0 . Nëse gjatësia valore e dritës me të cilën ndriçohet sipërfaqja e litiumit rritet 1,6 herë, atëherë, që fotorryma të ndërpritet përsëri, potenciali frenues duhet të zvogëlohet 2,2 herë. Llogarit λ_0 . Puna dalëse e elektroneve nga litiumi është 2,39 eV. (Zgjidhja: 520 nm)
3. Një elektron në një atom heliumi të jonizuar një herë kalon nga niveli i pestë energjetik në nivelin e tretë energjetik. Sa është gjatësia valore e fotonit që emeton elektroni gjatë këtij procesi? (Zgjidhja: 320 nm)
4. Në eksperimentin e Raderfordit për shpërndarjen, grimcat alfa me energji prej 5,27 MeV shpërndahen nga bërthamat e arit $^{118}_{79}\text{Au}$. Të merret se një grimcë alfa lëviz drejtpërdrejt drejt bërthamës së arit dhe shpërndahet prapa në një kënd prej 180° , ndërsa bërthama e arit mbetet e palëvizshme gjatë gjithë procesit
 - a) Përcakto largësinë minimale deri në të cilën grimca alfa do t'i afrohet bërthamës së arit.
 - b) Përcakto forcën maksimale që vepron mbi grimcën alfa kur ajo ndodhet më afër bërthamës së arit. (Zgjidhja: a) $4,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$; b) 20 N)
5. Cili nga pohimet vijuese nuk është postulat themelor i modelit të Borit për atomin e hidrogjenit?
 - a) Vetëm disa orbita elektronike janë të qëndrueshme dhe të lejuara.
 - b) Elektroni lëviz në orbita rrethore rreth protonit nën veprimin e forcës së Kulonit.
 - c) Ngarkesa e elektronit është e kuantizuar.
 - d) Atomi emeton rrezatim kur elektroni kalon nga një gjendje me energji më të madhe në një gjendje me energji më të vogël.
 - e) Ngarkesa e bërthamës është e kuantizuar
6. Le të jetë $-E$ energjia e përgjithshme e elektronit në atomin e hidrogjenit.
 - a) Sa është energjia kinetike e elektronit?
 - b) Sa është energjia potenciale e atomit?
 Për t'iu përgjigjur pyetjeve, zgjidh një nga përgjigjet e ofruara: 1) $2E$, 2) E 3) 0 , 4) $-E$, 5) $-2E$. (Zgjidhja: a) E b) $-2E$)
7.
 - a) A mundet elektroni i atomit të hidrogjenit, në gjendjen themelore, të absorbojë një foton me energji më të vogël se 13,6 eV?
 - b) A mund të absorbojë elektroni një foton me energji më të madhe se 13,6 eV?
8. Çfarë ndodh kur një atom emeton një foton?
 - a) Njëri nga elektronet e tij e braktis atomin.
 - b) Atomi kalon në një gjendje me energji më të madhe.
 - c) Atomi kalon në një gjendje me energji më të vogël.
 - d) Njëri nga elektronet e tij përplasat me një grimcë tjetër.

9. Sa energji nevojitet për ta jonizuar atomin e hidrogjenit kur ndodhet në një gjendje stacionare energjetike me numër kryesor kuantik 3. (Zgjidhja: 1,51 eV)
10. Një foton emetohet kur atomi i hidrogjenit kalon nga gjendja e pestë stacionare në gjendjen e tretë stacionare. Llogarit:
- gjatësinë valore të fotonit;
 - energjinë e fotonit;
 - frequencën e fotonit të emetuar. (Zgjidhja: a) 1,28 μm b) 0,97 eV c) $2,3 \cdot 10^{14}$ Hz)
11. Seria e Balmerit për atomin e hidrogjenit u përgjigjet kalimeve elektronike që përfundojnë në gjendjen me numër kuantik 2. Përcakto gjatësinë valore më të madhe dhe më të vogël të mundshme të fotoneve të emetuara në këtë seri. (Zgjidhja: 656 nm, 365 nm)
12. Ndërmjet cilave dy shtresa energjetike kryhet kalimi nëse në spektrin karakteristik të rrezatimit rentgen të një elementi vërehen vijat: L_β , L_γ , M_α dhe M_β .
13. Në një tub rentgen me anodë prej volframi, gjatësia valore që i përgjigjet energjisë maksimale të spektrit të vazhdueshëm përputhet me vijën K_α të spektrit të ndërprerë të rrezatimit rentgen. Përcakto tensionin në tubin rentgen. ($Z_w = 74$, $\sigma = 1$). (Zgjidhja: 70 kV)
14. Kur ^{125}Sb zbërthehet në ^{125}Te , çfarë ndryshimesh ndodhin në bërthamë dhe cilat grimca emetohen prej saj?
15. Perioda e gjysmëzbërthimit të radiumit-224 është afërsisht 3,6 ditë. Cila pjesë e mostrës do të mbetet e pazbërthyer pas katër javësh? (Zgjidhja: 0,4 %)
16. Përcakto radioizotopet që përfitohen gjatë zbërthimit të vargut radioaktiv të $^{235}_{92}\text{U}$, i cili përfundon me izotopin e qëndrueshëm $^{207}_{82}\text{Pb}$. Në boshtin vertikal të figurës është paraqitur numri i neutroneve, ndërsa në boshtin horizontal numri atomik i elementit. Me shigjetën vjollcë është paraqitur zbërthimi alfa, ndërsa me shigjetën e kaltër zbërthimi beta i radioizotopeve. Për zgjidhjen e detyrës përdor Sistemin periodik të elementeve.
17. Sa është vlera Q e reaksionit $^9_4\text{Be} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{12}_6\text{C} + ^1_0\text{n}$? Për masën e secilës grimcë në reaksionin bërthamor të merret vlera e përafërt 4 Au, ku $1u = 931,5\text{MeV}$. (Zgjidhja: 5,6 MeV)
18. Identifiko nuklidet e panjohura X në reaksionet bërthamore:
- $X + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{24}_{12}\text{Mg} + ^1_0\text{n}$,
 - $^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{93}_{38}\text{Sr} + X + 2^1_0\text{n}$
19. Janë vëzhguar reaksionet vijuese:
- $$^9_4\text{Be} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{10}_4\text{Be} + \gamma, \quad Q_1 = 6,812\text{ MeV} \text{ dhe } ^9_4\text{Be} + \gamma \rightarrow ^8_4\text{Be} + ^1_0\text{n}, \quad Q_2 = -1,665\text{ MeV}$$
- të këtyre të dhënave, llogarit masat e ^9_4Be dhe $^{10}_4\text{Be}$ në njësi të unifikuara të masës, me saktësi deri në tri shifra dhjetore. (Zgjidhja: 9,012u, 10,013u)
20. Përcakto energjitë Q_1 dhe Q_2 që çlirohen gjatë reaksioneve vijuese të fuzionit:



Nëse dihet se energjia e lidhjes së bërthamave është: $B(^2_1\text{H}) = 2,225\text{MeV}$ $B(^3_2\text{He}) = 7,718\text{MeV}$ $B(^3_1\text{H}) = 8,481\text{MeV}$. (Zgjidhja: 3,27 MeV, 4,03 MeV)





Shoqëria aksionare për botimin e teksteve shkollore dhe mjeteve mësimore
PROSVETNO DELLO AD Shkup, Rr. Dimitrie Čupovski nr. 15

Për botuesin:

m-r Pavle Petrov, drejtor i përgjithshëm

Fizikë për vitin II arsimit të mesëm-gjimnaz

Autorë: Lambe Barandovski Marija Velevska

Titulli origjinal:

Физика за II година гимназиско образование

Kryeredaktor: **Vesna Dukovska**

Lekturimi dhe redaktimi gjuhësor: **Gordana Aceska**

Përkthimi nga maqedonishtja në shqip: **Gylten Rexhallari**

Përpunimi grafik, kopertina dhe përgatitja kompjuterike:

Suzana Tomovska

bashkëpunëtore profesionale: **doc. dr. Jana Bogdanoska**

Ilustrime: **Shutterstock i Freepik**

ISBN: 978-608-228-589-4

Vendi dhe viti i botimit: Shkup, 2026

Vëllimi 296 faqe. Format: 200x270 mm. Tirazhi: 1.868

Libri është shtypur në shtypshkronjën: EVROPA 92 DOOEL,

Rruga Križevska 52, 2300 Koçan

CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

53(075.3)=18

BARANDOVSKI, Lambe

Fizike për vitin II arsimit të mesëm-gjimnaz / Lambe Barandovski,

Marija Velevska ; [përkthimi nga maqedonishtja në shqip Gylten

Rexhallari]. - Shkup : Prosvetno dello, 2026. - 296 str. : ilustr. ; 27 cm

Превод на делото: Физика за II година гимназиско образование

ISBN 978-608-228-589-4

1. Velevska, Marija [автор]

COBISS.MK-ID 69328133



Prosvetno-dobro



9 786082 285894

133270