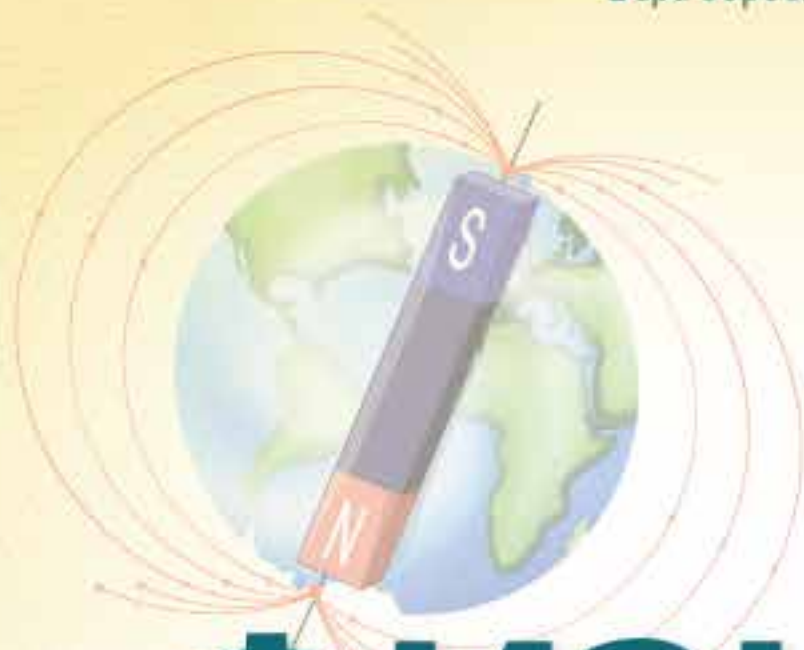


Ламбе Барановски
Вера Зороска



ФИЗИКА

ЗА ОСМИ РАЗРЕД ОСНОВНОГ ОБРАЗОВАЊА



проф. др Ламбе Барановски
мр Вера Зороска

ФИЗИКА

ЗА ОСМИ РАЗРЕД ОСНОВНОГ ОБРАЗОВАЊА



Скопје, 2026

Автори:

проф. др Ламбе Барановски – Институт за физику, Природно-математички факултет – Скопје

Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје

мр Вера Зороска – ООШ „Христо Узунов“ – Охрид

Рецензенти:

проф. др Боце Митревски – Природно-математички факултет при УКИМ – Скопје проф. др Даница

Крстовска – Природно-математички факултет при УКИМ – Скопје Катица Митовска Христовска – ООШ

„Кочо Рацин“ - Скопје

Одлуком Националне комисије за уџбенике у Републици Северној Македонији, донетом дана 25.06.2026. године, заведеном под бр. 26-766/1 од 29.06.2026. године од стране Министарства образовања и науке Републике Северне Македоније, Педагошке службе, одобрава се употреба уџбеника за наставни предмет Физика за VIII разред основне школе.

Драги ученици,

Физика је наука која нам помаже да разумемо свет око нас, почев од најједноставнијих појава са којима се свакодневно сусрећемо, па све до сложених природних процеса који се одвијају у васиони. Овај уџбеник је настао са циљем да вам корак по корак помогне да упознате физику не само као скуп формула и закона, већ као научну дисциплину која се непрестано развија, доприноси објашњењу сваке природне појаве и примењује се у стварном животу.

Уџбеник је структуриран тако да се свака лекција логично надовезује на претходну. Појмови се уводе постепено, уз јасне дефиниције, објашњења и примере, а посебна пажња посвећена је повезивању физичких закона са појавама из свакодневног живота. На тај начин физика постаје разумљива, применљива и занимљива.

Посебна карактеристика овог уџбеника јесте то што, поред основног текста, садржи:

- истраживачке активности и експерименте,
- питања за размишљање која вас подстичу да самостално доносите закључке,
- задатке различитог нивоа тежине,
- кратке рубрике „Запамти“, које истичу најважније идеје,
- примере примене физике у техници, природи и свакодневном животу.

Оваквим приступом уџбеник не захтева од вас само да памтите чињенице, већ вас охрабрује да размишљате, да постављате питања „зашто?“ и „како?“, да посматрате, упоређујете и експериментишете. Физика се не учи само из књиге, већ и истраживањем.

Ученици, будите радознали! Не плашите се да постављате питања и да правите грешке, јер су грешке део учења. Сваки велики физичар почео је као ученик који се питао зашто се нешто дешава управо тако. Истражујте, експериментишите и критички размишљајте. Закони физике нису намењени само томе да се науче, већ да се открију, разумеју и примене ради будућих научних и технолошких открића која ће променити свет набоље.

Желимо вам успешно и инспиративно путовање кроз свет физике!

Аутори

ЛЕГЕНДА



РЕШЕНИ ПРИМЕР



АКТИВНОСТ



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



ЗАНИМЉИВОСТИ



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ



ЗАПАМТИ

САДРЖАЈ

ТЕМА 1 ЕНЕРГИЈА	7
1.1. ЕНЕРГИЈА И ВРСТЕ ЕНЕРГИЈЕ	8
1.2. ПРЕТВАРАЊЕ ЕНЕРГИЈЕ ИЗ ЈЕДНОГ ОБЛИКА У ДРУГИ	12
1.3. ОБНОВЉИВИ И НЕОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ	15
1.4. КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА	20
1.5. ГРАВИТАЦИОНА ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕНЕРГИЈА	24
1.6. ЕЛАСТИЧНА ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕНЕРГИЈА	31
1.7. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ МЕХАНИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ	35
1.8. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ МЕХАНИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ	39
1.9. МЕХАНИЧКИ РАД	43
1.10. СНАГА И СТЕПЕН КОРИСНОГ ДЕЈСТВА	49
ТЕМА 1. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂИВАЊЕ	55
ТЕМА 2 УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА И ТОПЛОТА	57
2.1. ГРАЂА СУПСТАНЦЕ	58
2.2. МЕЂУЧЕСТИЧНИ ПРОСТОР И МЕЂУЧЕСТИЧНЕ СИЛЕ	62
2.3. АГРЕГАТНО СТАЊЕ СУПСТАНЦЕ	66
2.4. ТЕМПЕРАТУРА. ТЕМПЕРАТУРСКЕ СКАЛЕ	70
2.5. ТОПЛОТНО ШИРЕЊЕ ЧВРСТИХ ТЕЛА	74
2.6. ТОПЛОТНО ШИРЕЊЕ ТЕЧНОСТИ. АНОМАЛИЈА ВОДЕ	78
2.7. ТОПЛОТНЕ ПРОМЕНЕ КОД ГАСОВА	82
2.8. ПРОМЕНЕ КОД ГАСОВА ПРИ КОНСТАНТНОЈ ТЕМПЕРАТУРИ	87
2.9. УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА, ТОПЛОТА И ТЕМПЕРАТУРА	90
2.10. ПРЕНОС ТОПЛОТЕ. КОНДУКЦИЈА (ТОПЛОТНА ПРОВОДЉИВОСТ)	94
2.11. ПРЕНОС ТОПЛОТЕ КОНВЕКЦИЈОМ (СТРУЈАЊЕМ) И РАДИЈАЦИЈОМ (ЗРАЧЕЊЕМ)	97
2.12. СПЕЦИФИЧНИ ТОПЛОТНИ КАПАЦИТЕТ	102
2.13. ТОПЛОТНА РАВНОТЕЖА. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ ЕНЕРГИЈЕ	106
ТЕМА 2. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂИВАЊЕ	109
ТЕМА 3 ЕЛЕКТРИЦИТЕТ И МАГНЕТИЗАМ	111
3.1. ГРАЂА АТОМА. ЕЛЕКТРИЧНА НАЕЛЕКТРИСАЊА	112
3.2. НАЕЛЕКТРИСАВАЊЕ ТЕЛА	116
3.3. ЕЛЕКТРИЧНО ПОЉЕ	120
3.4. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА И ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ	125
3.5. ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ	129
3.6. ПРОВОДНИЦИ, ПОЛУПРОВОДНИЦИ, ИЗОЛАТОРИ	133
3.7. МЕРЕ ЗАШТИТЕ ПРИ КОРИШЋЕЊУ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ	136
3.8. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА КРОЗ ТЕЧНОСТИ	139
3.9. СТРУЈА КРОЗ ГАСОВЕ И ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЈАВЕ У АТМОСФЕРИ	143
3.10. ЕФЕКТИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ	147
3.11. МАГНЕТИ И МАГНЕТНО ПОЉЕ	152
3.12. МАГНЕТНО ПОЉЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ. ЕЛЕКТРОМАГНЕТ	157
ТЕМА 3. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂИВАЊЕ	163

ТЕМА 4 СВЕТОСТ	165
4.1. ПРОСТИРАЊЕ СВЕТОСТИ.....	166
4.2. СЕНКЕ И ПОЛУСЕНКЕ.....	169
4.3. ОДБИЈАЊЕ СВЕТОСТИ.....	174
4.4. РАВНО ОГЛЕДАЛО И ЛИК КОД РАВНОГ ОГЛЕДАЛА	177
4.5. СФЕРНА ОГЛЕДАЛА	182
4.6. КОНСТРУКЦИЈА ЛИКОВА КОД СФЕРНИХ ОГЛЕДАЛА.....	186
4.7. ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТОСТИ.....	191
4.8. ПОТПУНА РЕФЛЕКСИЈА.....	196
4.9. ОПТИЧКА СОЧИВА.....	202
4.10. КОНСТРУКЦИЈА ЛИКОВА КОД СОЧИВА.....	207
4.11. ДИСПЕРЗИЈА СВЕТОСТИ.....	211
4.12. ГРАЂА ЉУДСКОГ ОКА.....	215
4.13. АДИТИВНО И СУПТРАКТИВНО МЕШАЊЕ БОЈА	219
ТЕМА 4. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂИВАЊЕ.....	223
 ИНДЕКС НА ПОИМИ	225
ОДГОВОРИ НА НЕКЕ ЗАДАТКЕ И ПИТАЊА	231

Тема 1: ЕНЕРГИЈА

Ова тема ће ти помоћи да разумеш свет око себе: зашто лопта одскаче од подлоге, како је енергија ускладиштена у батерији, зашто се умарамо када трчимо и како можемо да користимо енергију на паметан и одржив начин.

Енергија је невидљива, али свеprisутна: у ветру који окреће лопатице ветрењача, у води која пада са висине, у телу које скаче, у сунчевим зрацима који омогућавају живот на Земљи. Проучавањем ове теме открићеш да постоје различити облици енергије, као што су кинетичка, гравитациона потенцијална, еластична, топлотна, светлосна и електрична, али ћеш научити и да их препознајеш у свакодневним ситуацијама.

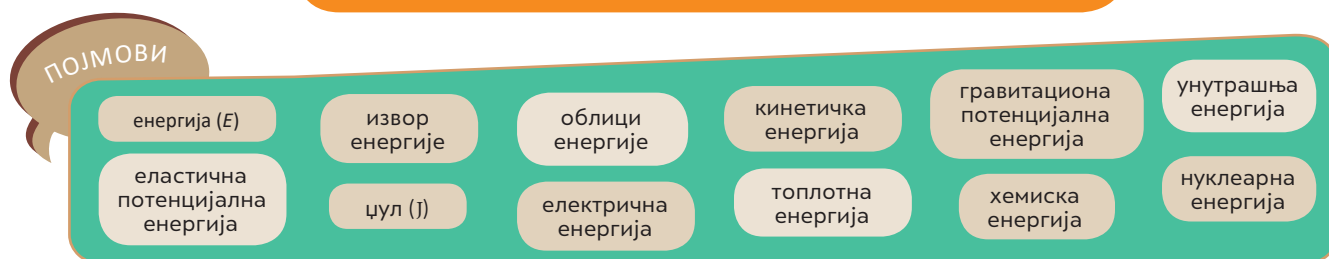
Моћи ћеш да израчунаш колико енергије има тело које се креће, да разумеш како се енергија претвара из једног облика у други и како се преноси. Такође, научићеш да примењујеш Закон о одржању енергије, који нам говори да се енергија не може ни створити ни уништити, већ само прелази из једног облика у други. Повезаћеш механички рад који врши сила са променом енергије тела.

Резултати учења

Ученик/ученица ће бити способан/способна

- да објасни појам енергије и прави разлику између различитих облика енергије и различитих извора енергије;
- да одређује кинетичку енергију, гравитациону потенцијалну енергију и еластичну потенцијалну енергију датих тела;
- да анализира претварање/трансформацију и пренос енергије;
- да примењује Закон о одржању енергије на примерима из стварних ситуација;
- да повезује рад и енергију.

1.1. ЕНЕРГИЈА И ВРСТЕ ЕНЕРГИЈЕ



ЕНЕРГИЈА И ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Окружени смо уређајима који користе енергију, као што су мобилни телефон, лампа, телевизор, клима-уређај, аутомобил и др. Енергија је потребна и биљкама, животињама и људима. Свако од њих може да врши рад или да изазове неку промену ако има енергију. Ако нема електричне енергије, лампа не светли; аутомобил без горива (или са празном батеријом) не може да се креће; биљка без хранљивих материја и светлости не може да расте; човек, ако се не храни, не може да расте и развија се, да се креће, ради и ствара. Енергија, заједно са супстанцом и физичким пољем, представља један од облика у којима се јавља материја. Енергија је способност тела или система да врши рад, односно да изазове промену.



Слика 1. Различите врсте енергије. Лампа која светли, аутомобил у кретању, биљка која расте и човек који трчи.

Енергија је изведена физичка величина и за њу користимо ознаку E . Енергија је скаларна величина. Основна јединица мере за енергију је 1 J (један џул). Окружени смо телима, предметима или супстанцама које имају различите врсте енергије. За таква тела, предмете или супстанце кажемо да су извори енергије. Човек користи изворе енергије јер се енергија коју они поседују може пренети са једног на друго место, са једног на друго тело, претворити из једног у други облик енергије или искористити за вршење механичког рада. Извори енергије су ветар, вода која тече или пада са неке висине, нафта, угаљ и природни гас, дрво и све супстанце које могу да горе, нуклеарно гориво, храна коју уносе жива бића, геотермални извори, морски таласи итд. Ипак, највећи и најважнији извор енергије за живот на Земљи јесте Сунце. Без његове топлоте и светлости, не би било биљака, животиња, воде у кретању, нити климе какву познајемо. Највећи део енергије коју човек користи потиче посредно од Сунца.

ОБЛИЦИ (ВРСТЕ) ЕНЕРГИЈЕ

Енергија се може јавити у различитим **облицима**, у зависности од тога да ли потиче од кретања тела или од узајамног дејства између тела или честица. Због тога енергију делимо на енергију кретања (кинетичку) и енергију узајамног дејства тела или честица (потенцијалну енергију).

Кинетичка енергија

Свако тело које се креће има **кинетичку енергију**. Кинетичка енергија тела зависи од његове масе и брзине којом се креће. Када се тело заустави, његова кинетичка енергија не нестаје – она се претвара у други облик, најчешће у топлоту (услед трења између тела које се креће и подлоге). Примери тела која имају кинетичку енергију су: аутомобил који се креће, лопта која се котрља по подлози, вода која тече у реци, ветрењача која се окреће као последица дувања ветра.

Енергија као резултат узајамног дејства

Ова енергија се не јавља услед кретања тела, већ услед његовог **положаја, стања или узајамног дејства између честица у телу, али и као резултат узајамног дејства тела са другим телима**. Ту спадају следеће врсте енергије које могу имати тела или супстанце:

▪ Гравитациона потенцијална енергија

Тело има енергију зато што се налази на некој висини изнад Земље. Што се тело налази на већој висини изнад површине Земље и што је његова маса већа, то је већа и његова гравитациона потенцијална енергија. Гравитациону потенцијалну енергију има вода која је сакупљена иза бране, јабука која је на грани итд.

▪ Еластична потенцијална енергија

Овакву енергију поседују тела која су издужена или сабијена у односу на своје равнотежно стање, као што су, на пример, сабијена опруга или издужена гума, издужена мембрана на надуваном балону или затегнута тетива лука.

▪ Енергија механичких таласа

Звук, као и таласи на води, представљају механичке таласе. Код механичких таласа честице средине осцилују, при чему предају енергију суседним честицама. Звук и таласи на води шире се од места свог настанка, при чему честице преносе енергију са једног на друго место.



Слика 2.
Гравитациска
потенцијална и кинетичка
енергија на вода.

▪ Хемиска енергија

Ова енергија је ускладиштена у супстанцама, односно у везама између атома и молекула. Ова енергија може да се ослободи при хемијским реакцијама – као што су сагоревање горива, варење хране или укључивање батерије у струјно коло.

▪ Електрична енергија

Јавља се када се електрична наелектрисања крећу кроз проводник. Ова енергија је најкоришћенији облик у технологији и може лако да се претвара у друге облике: светлосну, топлотну или енергију звучних таласа.

▪ Унутрашња и топлотна енергија

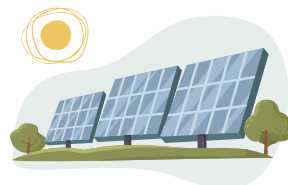
Унутрашња енергија је укупна енергија свих честица од којих је тело сачињено, а потиче од њиховог кретања и узајамног дејства. Ако се честице крећу већом брзином, повећава се топлотна енергија тела, која се преноси са тела више температуре на тела ниже температуре. Унутрашњу енергију поседује свако тело. Што је већа унутрашња енергија тела, то је тело загрејано на вишу температуру.

▪ Светлосна енергија

Ако се тела превише загреју, тада део топлотне енергије може да се емитује у облику светлосне енергије. Примарни извор светлосне енергије је Сунце, а у свакодневном животу светлост најчешће добијамо од електричних сијалица.



Слика 3.
Хемиска енергија
на јаглен



Слика 4.
Светлосна енергија

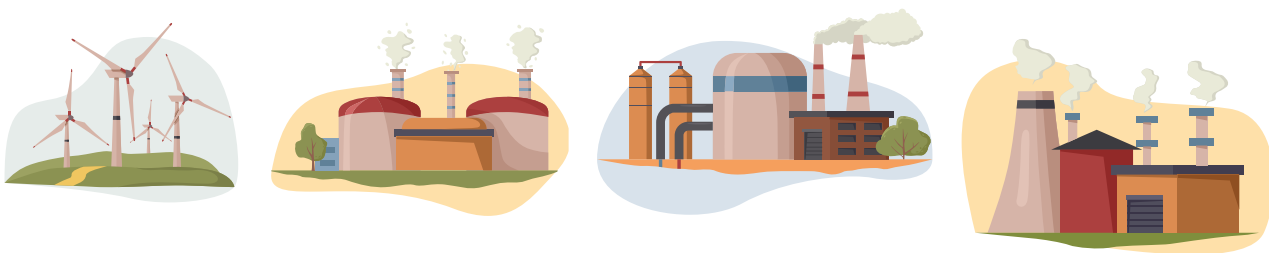


Слика 5.
Нуклеарна енергија

▪ Нуклеарна енергија

Нуклеарна енергија се ослобађа при реакцијама у атомским језгрима. Укупна енергија коју зрачи Сунце потиче од процеса у језгрима атома у Сунцу. Нуклеарна енергија на Земљи користи се за добијање електричне енергије у нуклеарним електранама.

Често се кинетичка енергија и гравитациона потенцијална енергија, као и енергија која се преноси механичким таласима, као што су звучни таласи и таласи на води, заједничким именом називају механичка енергија.



Слика 6. Енергија ветра, биомаса, геотермална енергија, природни гас



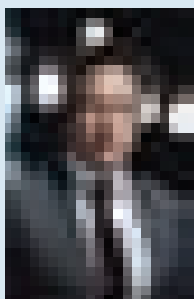
Слика 7. Различите врсте енергије

**А К Т И В Н О С Т****1. Енергетска вредност хране**

Изабери четири прехранбена производа из фрижидера и истражи колико ћеш енергије унети у организам ако поједеш 100 г сваког производа. После конзумирања ког производа ћеш унети највише енергије? Да ли унета енергија у организам зависи само од врсте производа или и од масе производа који си појео?

ЗА 5+

Истражи који се извори енергије користе у нашој држави за добијање електричне енергије.

**П О З Н А Т И Н А У Ч Н И К****Илон Маск (Elon Musk, 1971)**

Илон Маск је амерички предузетник и иноватор чији је рад драматично променио индустрију електричних возила, батеријских технологија и обновљивих извора енергије. Рођен је у Преторији, у Јужној Африци, а још од раног детињства показивао је велико интересовање за физику и инжењерство. Касније се преселио у САД, где је на Универзитету у Пенсилванији стекао две универзитетске дипломе – једну из физике, а другу из економије. Његово образовање омогућило му је да разуме потенцијал батеријских система и обновљивих извора енергије. Преко својих компанија, Маск је развио

најсавременије литијум-јонске батерије и соларне системе за домаћинства и за индустријску производњу електричне енергије. Данас његове компаније имају кључну улогу у глобалној транзицији са фосилних горива на обновљиве изворе енергије, чинећи електричну енергију ефикаснијом, чистијом и доступнијом.

**З А Н И М Љ И В О С Т И**

За сваки корак који направимо потрошимо приближно 0,5 џула енергије.

**П И Т А Њ А И З А Д А Ц И**

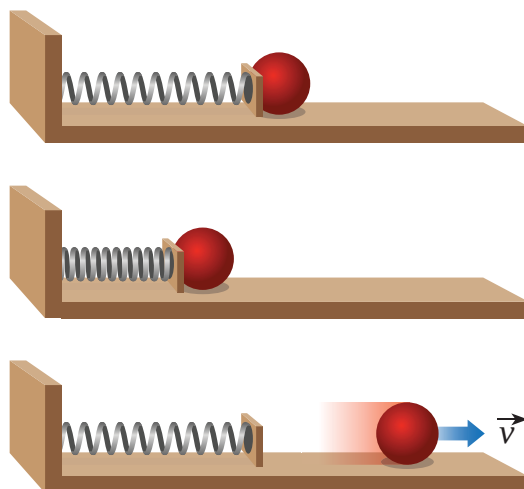
1. Које изворе енергије имаш у свом непосредном окружењу?
2. Наведи три примера из свакодневног живота када тело има енергију.
3. Које тело има већу кинетичку енергију: аутомобил брзине 10 m/s или камион исте брзине?
4. Какву енергију добијамо од Сунца?
5. Које изворе енергије свакодневно користиш?

**З А П А М Т И**

- Енергија је способност тела или система да врши механички рад.
- Основна јединица за енергију у Међународном систему јединица (SI) је џул (J).

1.2. ПРЕТВАРАЊЕ ЕНЕРГИЈЕ ИЗ ЈЕДНОГ ОБЛИКА У ДРУГИ

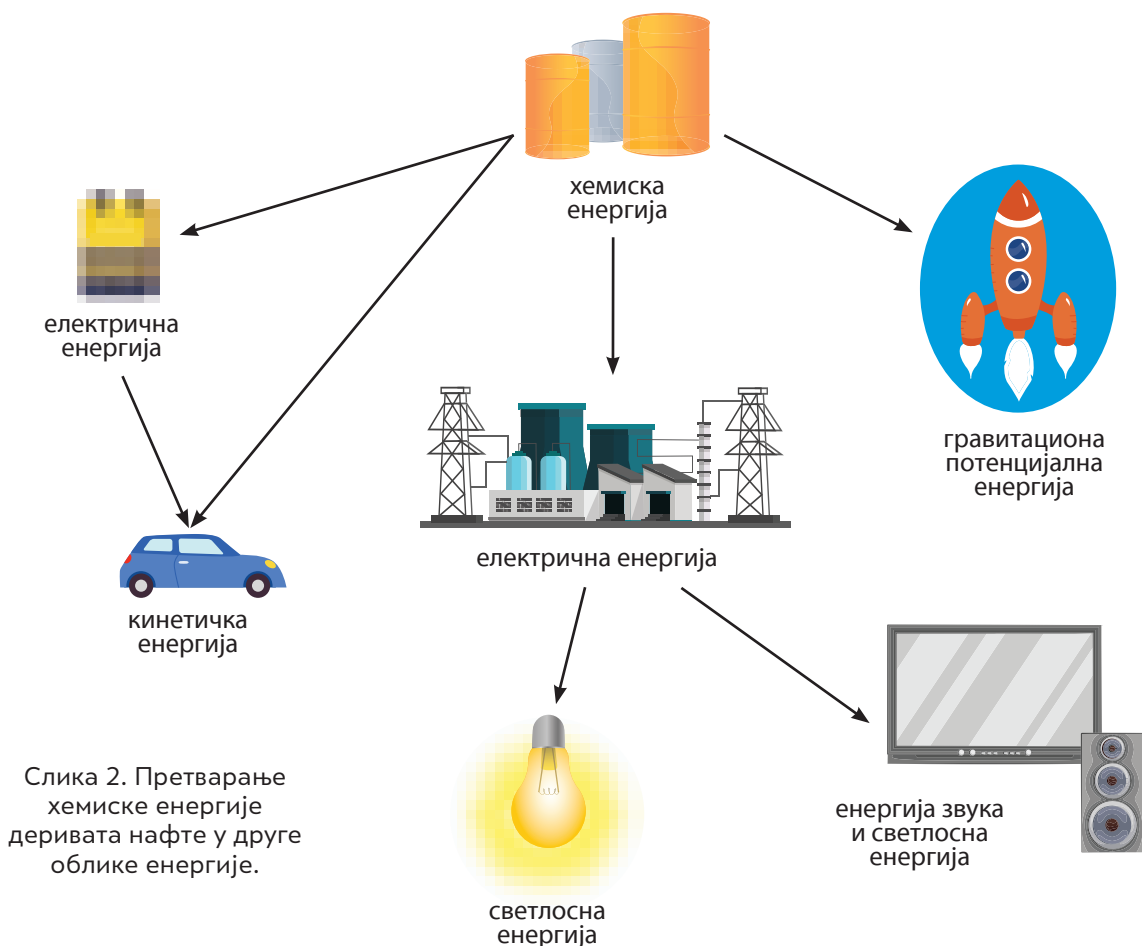
Енергија има неколико значајних својстава. Осим што постоји у различитим облицима (механичка, електрична, топлотна, хемијска...), енергија може да се преноси са једног тела на друго или са једног места на друго и може да се трансформише из једног облика у други. Сабијена опруга је пример тела које има еластичну потенцијалну енергију. Када је издужена или сабијена, иако мирује, има способност да покрене неко тело. Када пустимо опругу приказану на Слици 1, она се враћа у свој првобитни облик и покреће тело, при чему се еластична потенцијална енергија претвара у кинетичку енергију тела. Када тело престане да се креће, енергија се претвара у топлотну енергију као резултат трења тела о подлогу и о честице ваздуха.



Слика 1. Претварање еластичне потенцијалне енергије у кинетичку енергију.

Када возимо бицикл, хемијска енергија из хране претвара се у кинетичку. Када сијалица светли, електрична енергија претвара се у светлосну и топлотну. При сагоревању бензина у аутомобилу добијају се кинетичка и топлотна енергија. Гравитациона потенцијална енергија воде у хидроелектранама најпре се претвара у кинетичку енергију воде, а затим у електричну енергију. Светлосну енергију Сунца биљке користе за стварање хране, односно претварају је у хемијску енергију. Ово претварање енергије из једног облика у други представља основу свих процеса у природи и у нашем свакодневном животу.

Разумевање енергије помаже нам да схватимо свет и технологију око нас. Можемо да научимо како раде машине, како се крећу тела и како можемо да користимо енергију на паметан и одржив начин. Енергија може и да се складишти ако постоји начин да се сачува за каснију употребу. Неки облици енергије, као што су хемијска, гравитациона потенцијална и нуклеарна енергија, могу да се складиште, док се кинетичка, електрична и светлосна енергија не могу складиштити, већ се претварају у друге облике који се лакше складиште. На пример, кинетичка енергија воде у хидроелектранама претвара се у електричну енергију, која се, уколико се не користи у тренутку када је произведена, може претворити у хемијску енергију ускладиштену у батеријама. На сличан начин и светлосна енергија Сунца, применом фотонапонских колектора, претвара се у електричну енергију, која такође може да се складишти као хемијска енергија у батеријама.



Слика 2. Претварање хемијске енергије деривата нафте у друге облике енергије.



АКТИВНОСТИ

1. Претварање енергије из једног облика у други

Пусти куглицу да се котрља низ косу раван и посматрај шта се дешава са њеном брзином. Објасни какву енергију има куглица пре него што је пустиш да се креће низ косу раван. Који се облик енергије мења током кретања? Која се енергија смањује, а која повећава? Када се куглица заустави на хоризонталној површини, објасни у шта се претворила енергија коју је куглица имала на почетку.

2. Стварање кратера

Узми неколико металних куглица различите масе, направљених од истог материјала, и посуду са песком. Најпре пусти једну од куглица да пада са различитих висина и посматрај колики је пречник кратера који куглица направи у песку. Да ли куглица, ако је пуштена да пада са веће висине, ствара кратер већег пречника? У другом делу ове активности пусти куглице различите масе да падају са исте висине. Која је куглица направила кратер највећег пречника? У коју се енергију претворила гравитациона потенцијална енергија када куглица падне у песак?

3. Зашто се вода загрејала?

Постави две чаше са водом: једну на Сунце, а другу у сенку. После 30 минута измери температуру воде у обе чаше. Објасни шта овај експеримент показује о трансформацији енергије.

ЗА 5+

Истражи како функционише хибридни аутомобил. Која претварања енергије настају при убрзавању и при кочењу аутомобила?

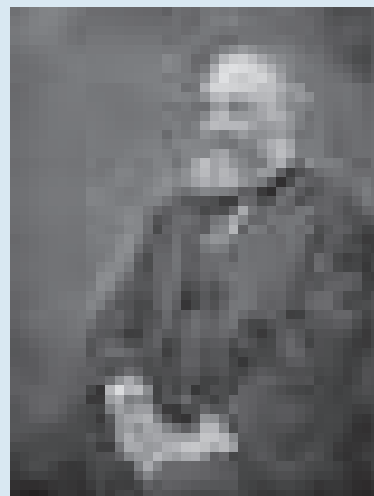

ЗАНИМЉИВОСТИ

Чак и када седи и чита, ученик троши енергију. Људски мозак користи око **20 %** укупне хемијске енергије која се ослобађа у телу.


ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Џејмс Прескот Џул (James Prescott Joule, 1818–1889)

Џул био је енглески физичар који је живео у 19. веку и још од детињства показивао велико интересовање за експерименте. Рођен је у граду Салфорду, у Енглеској. Иако није стекао класично универзитетско образовање, од младости се интересовао за електрицитет, магнетизам и топлотну енергију. Радио је у лабораторији коју је сам уредио у подруму своје куће. У то време многи научници веровали су да је топлота посебна супстанца, названа „калорик“, која прелази са једног тела на друго. Џул се није слагао с тим. Пажљивим мерењима и бројним експериментима показао је да топлота није супстанца, већ облик енергије који настаје при вршењу механичког рада. Овим открићем Џул је поставио темеље Закона о одржању енергије. У његову част, јединица за енергију у Међународном систему јединица (SI) носи његово име – џул (J).

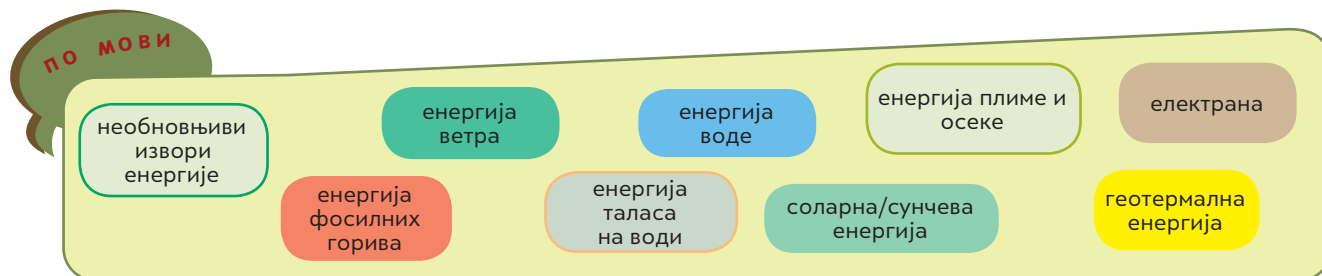

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Наведи два примера претварања хемијске енергије у друге облике енергије.
2. Наведи два примера претварања електричне енергије у друге облике енергије.
3. Постоје ручни часовници који као извор енергије не користе батерију, већ користе кретање руке. До каквих претварања енергије долази код оваквих часовника?
4. Објасни како се енергија претвара када ученик скаче на трамболини.
5. Зашто кажемо да највећи део енергије коју човек користи потиче посредно од Сунца?


ЗАПАМТИ

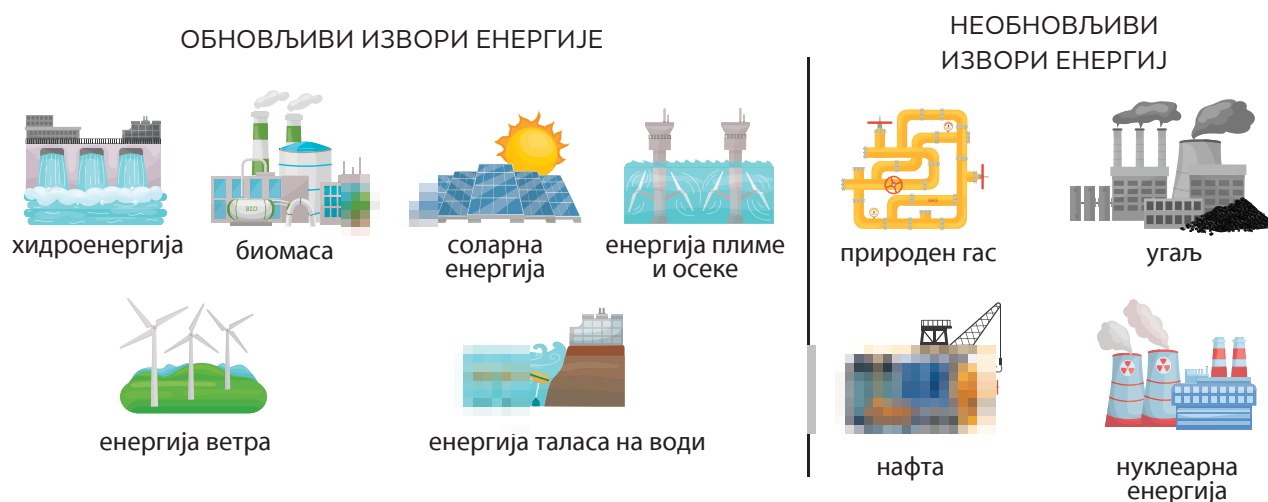
- У свим природним процесима долази до неког претварања или преноса енергије.

1.3. ОБНОВЉИВИ И НЕОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ



Сваког јутра, када се пробудимо и укључимо светло, пустимо воду из чесме или загрејемо доручак, користимо енергију. Али одакле долази та енергија и да ли ће је бити заувек? Природа нам омогућава различите изворе енергије, али нису сви подједнако доступни, нити су подједнако безбедни за животну средину. Неки извори се непрестано обнављају и могу се користити без страха да ће нестати, док други постоје у ограниченим количинама и треба их пажљиво користити. Према томе, изворе енергије делимо на **обновљиве и необновљиве изворе енергије**.

Обновљиви извори енергије су они које природа непрестано ствара и обнавља. Сунце свакога дана шаље огромну количину светлосне и топлотне енергије ка Земљи. Ветар непрестано постоји услед неравномерног загревања ваздуха на различитим местима на Земљи, а реке теку захваљујући води која испарава и поново се враћа на Земљу у облику кише. Ове природне појаве постоје милионима година и наставиће да постоје. Зато се Сунце, ветар и енергија која се добија кретањем воде сматрају неисцрпним изворима. Ту можемо додати и **енергију биомасе** – органског отпада биљака и животиња, као и геотермалну енергију која потиче од топлоте у унутрашњости Земље. Сви ови извори називају се чистим изворима енергије, јер се њиховим коришћењем не изазива загађење животне средине, нити се у атмосферу испуштају штетни гасови.



Слика 1. Обновљиви и необновљиви извори енергије.

Необновљиви извори енергије формирали су се током милиона година испод површине Земље и њихове количине су ограничене. Необновљиви извори су **фосилна горива** – угаљ, нафта и природни гас. Фосилна горива настала су од остатака древних биљака и животиња који су се током времена претворили у супстанце које при сагоревању ослобађају велику количину топлотне енергије, која се затим претвара у механичку или електричну енергију. Осим њих, у групу необновљивих извора спада и нуклеарно гориво, односно супстанце које при цепању својих атомских језгара ослобађају енергију која се користи у нуклеарним **електранама** за производњу електричне енергије.



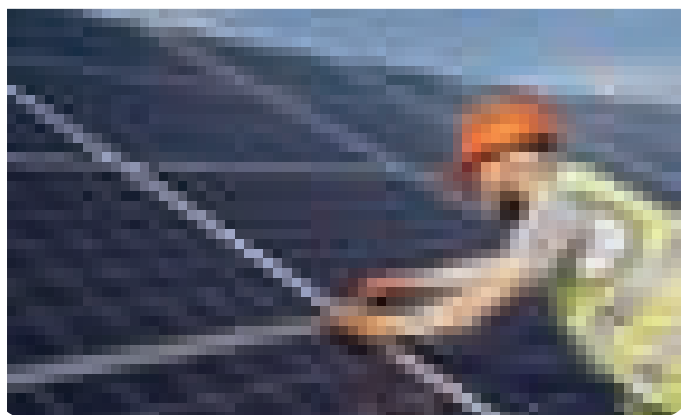
Слика 2. Топљење глечера је директна последица глобалног загревања.

Фосилна горива, иако се тренутно највише користе, имају озбиљне недостатке. Ови извори настали су пре милиона година и њихове количине су ограничене. При њиховом сагоревању ослобађају се велике количине дима (који садржи угљен-моноксид, угљен-диоксид, сумпор-диоксид, азотне оксиде и велики број ситних чврстих честица) који загађују ваздух и мењају климу Земље. Овај процес доводи до појаве која се назива ефекат стаклене баште, при чему део топлоте коју Сунце шаље ка Земљи остаје „заробљен“ у атмосфери. Овај процес називамо глобално загревање.

Последице глобалног загревања већ су уочљиве. Топи се лед на половима и глечерима у планинама, што доводи до пораста нивоа мора и поплава у приобалним подручјима. Клима на Земљи се мења, неки региони суочавају се са сушама, а други са обилним падавинама и временским непогодама. Загађење из фабрика и возила додатно погоршава квалитет ваздуха и здравље људи. Гасови који настају при сагоревању фосилних горива доприносе настанку киселих киша које оштећују земљиште, биљке и загађују воде.

За разлику од њих, обновљиви извори енергије не стварају штетне гасове. Соларни панели претварају сунчеву енергију у електричну енергију без загађивања.

Ветрењаче користе кинетичку енергију ветра за производњу електричне енергије, а хидроелектране претварају кинетичку енергију воде у електричну енергију. Енергија се може добити и из кретања морских таласа, који се непрестано стварају под утицајем ветра. Таласи носе велику количину механичке енергије, која се може искористити постављањем специјалних пловних уређаја који њихову енергију претварају у електричну енергију.



Слика 3. Соларни панели за добијање електричне енергије из сунчеве светлости.

Осим тога, енергија плиме и осеке представља још један занимљив и веома стабилан извор. Плима и осека настају под дејством гравитационог привлачења између Земље и Месеца, а периодично подизање и спуштање нивоа мора може се искористити за покретање турбина у посебним плимним електранама. На тај начин, природно кретање воде које се непрестано понавља може се претворити у електричну енергију.

Биомаса, као што су дрвеће и неке индустријске културе, као и геотермални извори, могу се користити за грејање домова или за производњу биогорива која замењују фосилна горива. Енергија која се добија из унутрашњости Земље, односно геотермална енергија, највише се користи у местима где постоје активни вулкани и топли извори, при чему се читави градови греју на овај начин. Ипак, и обновљиви извори имају своја ограничења. Производња електричне енергије из Сунца зависи од времена и дужине дана, ветроелектране не могу да раде без ветра, а изградња великих хидроелектрана може негативно да утиче на животну средину. Зато је најбоље решење комбиновано коришћење различитих извора и стално усавршавање технологија за њихову ефикасну употребу.



Слика 4. Коришћење геотермалне енергије.

Човечанство се данас суочава са великим изазовом – како обезбедити довољно енергије за све, а притом сачувати планету за будуће генерације. Прелазак са фосилних горива на обновљиве изворе није само технолошко, већ и друштвено и еколошко питање. Што се брже повећа употреба чистих извора енергије, то ће спорије напредовати глобално загревање и животна средина ће бити очувана.

Разумевање разлике између обновљивих и необновљивих извора енергије није само део физике, већ и део наше свакодневице. Одлуке које доносимо – да ли ћемо користити јавни превоз, угасити светло када га не користимо или поставити соларни панел – представљају мали, али важан допринос стварању чистије и одрживије будућности.



АКТИВНОСТИ

1. Сагоревање фосилних горива и загађење ваздуха

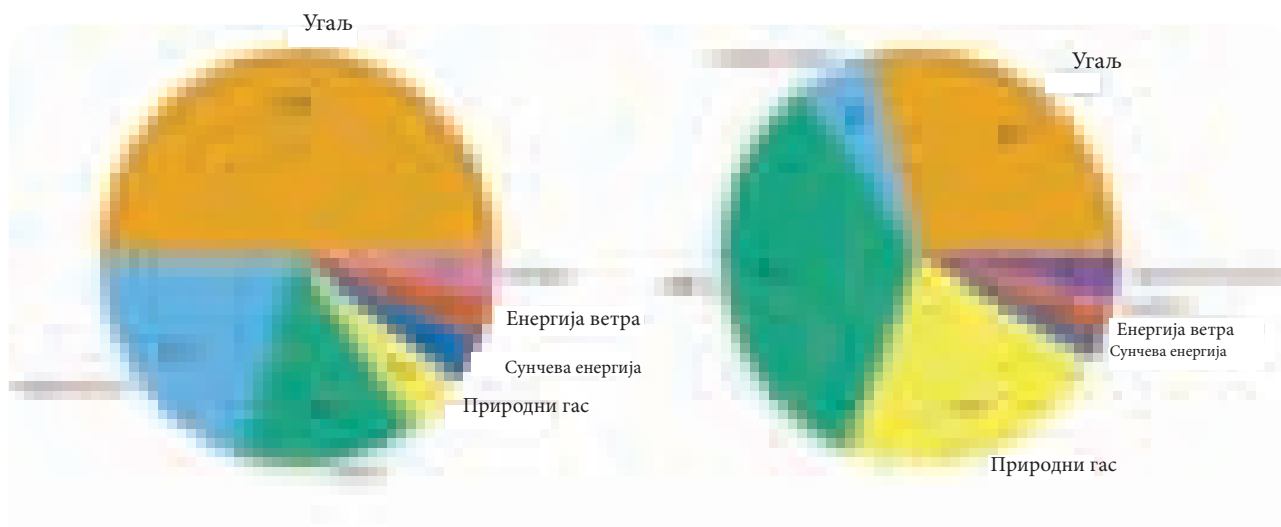
Узми један лист папира и један лист са дрвета или суву гранчицу. Постави их у металну чинију или у посуду отпорну на топлоту. Наставник нека пажљиво запали материјал, а одмах затим покриј га стакленом теглом или провидном пластичном кутијом. Посматрај шта се дешава, шта ће се појавити и шта ће се догодити са провидношћу кутије, односно тегле. Објасни како је сагоревање у овој активности слично сагоревању фосилних горива у електранама и превозним средствима. Шта се догодило са ваздухом у тегли? Зашто се стакло замаглило?

2. Демонстрација ефекта стаклене баште

Узми две пластичне флаше исте запремине (на пример 1 литар) чији чепови имају мали отвор у који можеш да поставиш термометар. У прву флашу не додај ништа, само је затвори чепом и постави термометар у отвор на чепу. Запремина у овој флаши испуњена је само ваздухом. У другу флашу, помоћу левка, стави две кашичице соде бикарбоне и додај 50 mL сирћета. Одмах затвори флашу чепом кроз који је провучен термометар како би се задржао настали угљен-диоксид. Ова флаша ће имати већу количину угљен-диоксида у односу на прву флашу. Постави обе флаше на исто растојање од електричне лампе која ће служити као извор „сунчеве“ енергије. После 5–10 min измери температуру гаса у обе флаше. У којој флаши је температура већа? Ако сте правилно извели експеримент, температура у флаши са већом количином угљен-диоксида биће виша, јер овај гас боље задржава топлоту – исто као што се то дешава и у атмосфери Земље. Како су резултати ове активности повезани са глобалним загревањем? Шта можемо да учинимо како бисмо смањили утицај ових гасова?

3. Демонстрација топљења леда на половима

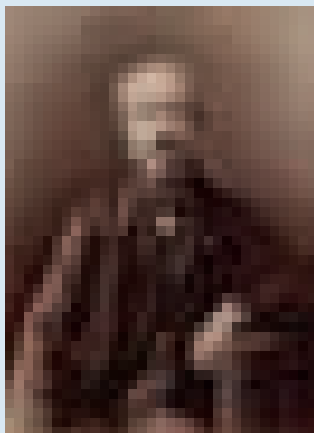
У овој активности истражићеш како топљење леда на копну утиче на ниво светског мора, док топљење морског леда не изазива значајну промену. Узми две провидне пластичне чаше и напуни их истом запремином воде. У прву чашу стави коцке леда директно у воду. Ове коцке леда представљаће морски лед, односно лед који плута у светском мору. У другу чашу постави дрвене штапиће изнад површине воде и стави лед на њих. Овај лед представљаће лед који се налази на копну. Фломастером или траком означи почетни ниво воде у обе чаше. Остави чаше на собној температури или на топлотном месту док се лед не отопи. У којој од чаша се ниво воде повећао? Како су резултати ове активности повезани са топљењем глечера на Гренланду и Антарктику? Шта ће се догодити са приобалним градовима ако ниво океана настави да расте?


ЗА 5+

Истражи колико износи укупна годишња производња електричне енергије у нашој држави и колики део те производње потиче из обновљивих извора. Који делови наше државе су погодни за постављање соларних електрана, а који за ветроелектране?

**ЗАНИМЉИВОСТИ**

На Исланду готово 100 % енергије потиче из обновљивих извора – претежно из геотермалних извора и хидроелектрана.

**ПОЗНАТИ НАУЧНИК****Александар-Едмон Бекерел (Alexandre-Edmond Becquerel, 1820–1891)**

Бекерел је био француски физичар, рођен у Паризу, који је оставио трајан научни траг у истраживањима светлости, електрицитета и материје. Потичао је из познате научне породице: његов отац Антоан-Сезар Бекерел бавио се електрохемијом и електричним појавама, а његов син Анри Бекерел касније ће постати познат по открићу радиоактивности.

Најпознатији допринос Бекерела је његово откриће из 1839. године, када је експериментално уочио фотоволтаични ефекат – појаву при којој под дејством светлости у одређеном систему настаје електрична струја. У свом класичном експерименту користио је електролитску ћелију којој су електроде биле осветљене, као резултат добијен је мерљив електрични сигнал. То је био први јасан доказ да се светлосна енергија може непосредно претворити у електричну енергију, што представља основу принципа рада соларних ћелија. Због тога се фотоволтаични ефекат понекад назива и „Бекерелов ефекат“.

**ПИТАЊА И ЗАДАЦИ**

1. Објасни својим речима шта су обновљиви, а шта необновљиви извори енергије. Наведи најмање три обновљива и три необновљива извора енергије.
2. Шта представља биомаса и како се може користити као извор енергије?
3. Које су последице прекомерне употребе фосилних горива?
4. Шта је ефекат стаклене баште и како настаје?
5. Објасни везу између глобалног загревања и топљења леда на половима.

**ЗАПАМТИ**

- Енергија се може добијати из различитих извора у природи.
- Обновљиви извори енергије су они који се природно обнављају и не загађују животну средину – сунчева енергија, енергија ветра, воде и механичких таласа, енергија плиме и осеке, биомаса и геотермална енергија.
- Необновљиви извори су ограничени: угаљ, нафта, природни гас и нуклеарно гориво.
- Сагоревање фосилних горива ствара штетне гасове који доводе до ефекта стаклене баште и глобалног загревања.
- Прелазак на обновљиве изворе неопходан је за одрживу будућност и очување природне равнотеже.

1.4. КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА

ПОИМИ

Кинетичка енергија (E_k)

Слика 1. Кинетичка енергија ветра
покреће лопатице ветротурбина.

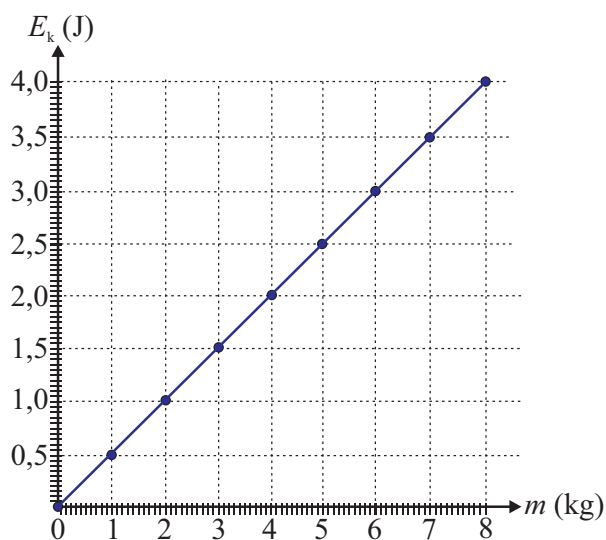
Свако тело које се креће има енергију. Замисли лопту која се котрља или ветар који дува. Ако ова тела наиђу на препреку, могу да изазову промену – да покрену препреку, промене њен облик или је чак сломе. Тако, када ветар (ваздушна маса која се креће) удари у лопатице ветротурбине, његова брзина се смањује, али зато лопатице турбине почињу да се крећу. Ако лопта која се котрља удари у еластичну опругу, онда ће се опруга деформисати. То показује да је кретање тела повезано са могућношћу тела да врши механички рад. Енергија коју тело има због свог кретања назива се **кинетичка енергија**. Кинетичку енергију једног тела означавамо са E_k .

Од чега зависи величина кинетичке енергије коју има неко тело? Од два тела једнаких маса, већу кинетичку енергију

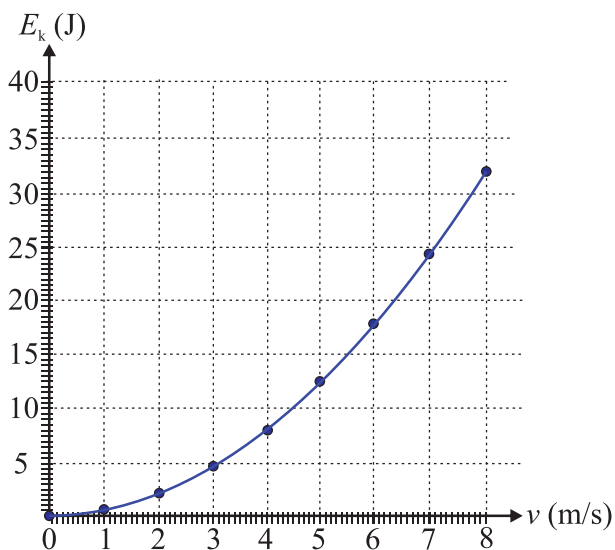
има тело које се креће већом брзином. Ако се две куглице различите масе котрљају истом брзином према непокретној опрузи, куглица веће масе више ће сабити опругу. Ако куглице имају једнаку масу, али се котрљају различитим брзинама према опрузи, онда ће куглица која се креће већом брзином више сабити опругу. Када вода у хидроелектрани пада са мале висине, има одређену брзину и производи мању количину електричне енергије. Ако пада са веће висине, њена брзина пре удара је већа, а самим тим и кинетичка енергија. Зато се код хидроелектрана граде високе бране у којима се акумулира вода, како би се добила већа енергија.

Иако кинетичка енергија зависи од масе тела и његове брзине, та зависност од брзине није правопропорционална, већ се кинетичка енергија повећава сразмерно квадрату брзине. Према томе, ако знамо масу тела m и његову брзину v , његову кинетичку енергију можемо израчунати према формули:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$



Слика 2. График зависимости кинетической энергии тела от его массы является прямой линией. На графике показана зависимость кинетической энергии от массы тела при скорости от 1 м/с. Масса тела меняется от 1 кг до 8 кг.



Слика 3. График зависимости кинетической энергии тела от скорости не является прямой, а является кривой линией. На графике показана зависимость кинетической энергии от скорости тела массы 1 кг. Скорость тела увеличивается от 0 м/с до 8 м/с.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

Автомобил массы 1500 кг движется через город со скоростью от 10 м/с, а авто-путем со скоростью от 20 м/с.

- Израчунај кинетичку енергију аутомобила у оба случаја.
- Колико је пута кинетичка енергија аутомобила при кретању ауто-путем (E_{k2}) већа од његове кинетичке енергије при кретању кроз град (E_{k1})?

Дато:	а. Према формули за израчунавање кинетичке енергије, за оба случаја имамо:
$m = 1500 \text{ kg}$ $v_1 = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $v_2 = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$E_{k1} = \frac{m \cdot v_1^2}{2} = \frac{1500 \text{ kg} \cdot \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 75000 \text{ J} = 75 \text{ kJ},$ $E_{k2} = \frac{m \cdot v_2^2}{2} = \frac{1500 \text{ kg} \cdot \left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2} = 300000 \text{ J} = 300 \text{ kJ}.$
Тражи се:	б. Однос кинетичких енергија n износи:
$E_{k1} - ?$ $E_{k2} - ?$ $n - ?$	$n = \frac{E_{k2}}{E_{k1}} = \frac{300 \text{ kJ}}{75 \text{ kJ}} = 4.$ Из другог дела задатка можемо закључити да, ако се аутомобил креће два пута већом брзином, његова кинетичка енергија повећава се четири пута.

Када тело престане да се креће, његова кинетичка енергија не нестаје – она се претвара у други облик енергије, најчешће у топлотну енергију услед трења тела о друга тела, подлогу или ваздух. Зато се при кочењу аутомобила загревају кочнице, а при паду тела на Земљу кинетичка енергија тела претвара се у топлотну енергију и енергију механичких таласа (звуча).



АКТИВНОСТИ

1. Зависност кинетичке енергије од масе тела

На крају косе равни постави препреку од глине или пластелина. Са њеног врха пусти да се котрља неколико куглица различите масе – на пример, метална, гумена и пластична. Ако се куглице пусе да се котрљају са исте висине, на крају косе равни имаће једнаке брзине. Када куглице ударе у препреку, свака ће оставити траг различите дубине. Која је куглица оставила дубљи траг у глини? Какав закључак можеш да изведеш на основу ове активности?

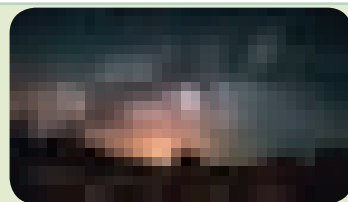
2. Зависност кинетичке енергије од брзине кретања

У овој активности користи само металну куглицу из претходне активности и исту препреку од глине, али мењај висину са које се куглица пушта. Најпре је пусти са мање висине на косој равни, а затим са веће. Уочи да је брзина куглице већа када се пушта са веће висине на косој равни. Када је дубина трага већа? Какав закључак можеш да изведеш? Да ли кинетичка енергија тела зависи од његове брзине?



ЗАНИМЉИВОСТИ

Када метеор уђе у Земљину атмосферу, његова кинетичка енергија претвара се у топлотну енергију услед трења са честицама у атмосфери. Када се метеор довољно загреје, део те топлотне енергије зрачи као светлосна енергија, па зато светли док пада и ми га видимо као „звезду падалицу“.

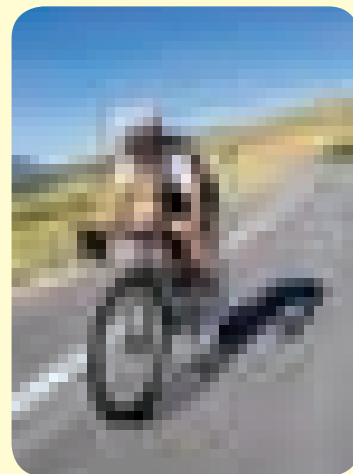


ЗА 5+

Брзина, која је векторска величина, има правац, смер и величину и представља меру за то колико растојање тело пређе за одређено време. Када се неко тело креће по правој линији и за сваки једнак временски интервал пређе исто растојање, кажемо да се тело креће **равномерно праволинијски**. Брзина код равномерног праволинијског кретања је константна и може се израчунати помоћу израза:

$$v = \frac{s}{t},$$

где је s пређени пут изражен у метрима (**m**), а t време за које је тај пут пређен, изражено у секундама (**s**). Основна јединица мере за брзину је **метар у секунди (m/s)**. На пример, ако бициклиста пређе 100 метара за 10 секунди, његова брзина је **10 m/s**.

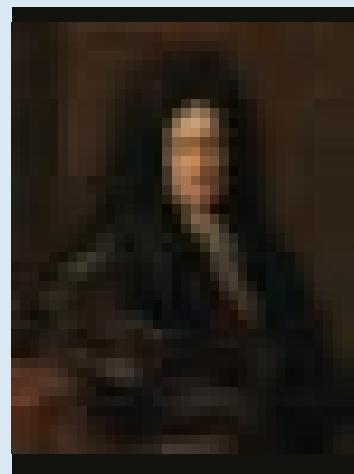


★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Готфрид Вилхелм Лајбниц (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646 -1716)

Лајбниц је био немачки филозоф, математичар и физичар који је у XVII веку направио значајан корак у развоју идеје о енергији кретања. Био је један од првих научника који су схватили да тела која се крећу имају нешто што се може мерити, упоређивати и одржавати – нешто што данас називамо **кинетичка енергија**.

Лајбниц је увео појам који је назвао „**vis viva**“ („жива сила“) како би описао ефекат који кретање тела има при сударима. Кроз експерименте и прорачуне уочио је да се, када се тела еластично сударе, не одржава се само производ масе и брзине ($m \cdot v$), како су сматрали његови савременици, већ и производ масе и квадрата брзине ($m \cdot v^2$). Тај резултат био је веома изненађујући за то време и изазвао је велику расправу међу физичарима. Данас знамо да је управо израз $m \cdot v^2$ а не $m \cdot v$ формула за кинетичку енергију:



$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

Иако Лајбниц није користио појам енергије, његов појам „vis viva“ први је изразио квантитативни (мерљиви) карактер кретања. Такође, уочио је да се при сударима тела део „живе силе“ може претворити у топлоту.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Ако се маса тела удвостручи, како ће се променити његова кинетичка енергија при истој брзини?
2. Ако удвостручимо брзину, колико пута ће се повећати кинетичка енергија тела?
3. Како се мења кинетичка енергија аутомобила када се његова брзина смањује?
4. Колика је кинетичка енергија лопте масе 200 g која се креће брзином од 3 m/s?
5. Ако се бициклиста масе 80 kg креће брзином од 5 m/s, колика је његова кинетичка енергија? Следећег дана исти бициклиста вози бицикл брзином од 10 m/s. Колико пута је брзина којом се кретао другог дана већа у односу на брзину првог дана? Колико пута је кинетичка енергија бициклисте другог дана била већа од кинетичке енергије коју је имао претходног дана?



ЗАПАМТИ

- Свако тело које се креће има кинетичку енергију.
- Кинетичка енергија зависи од масе тела и квадрата његове брзине.
- Кинетичка енергија је енергија коју тело има због свог кретања.
- Када тело престане да се креће, његова кинетичка енергија не нестаје — она се претвара у други облик енергије.

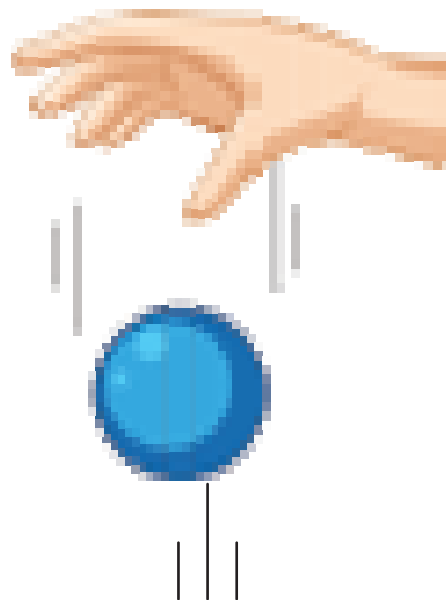
1.5. ГРАВИТАЦИОНА ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕНЕРГИЈА

ПОИМИ

гравитациона
потенцијална
енергија (E_{gp})референтна
раван

На свако тело које се налази у близини Земљине површине делује сила Земљине теже, и то вертикално наниже ка центру Земље. Да тело не би пало на Земљину површину, оно мора бити постављено на неку чврсту подлогу или обешено о конач. Ако уклонимо подлогу или пресечемо конач, тело ће почети да пада ка Земљиној површини. Ако са одређене висине пустимо тело да падне на пластелин или на опругу, приметимо да при удару тело деформише пластелин или сабија опругу.

Тело које може да изврши неку промену или да обави неки рад, као што је тело које пада са неке висине, има енергију. Та енергија се назива **гравитациона потенцијална енергија** и то је енергија коју једно тело има услед гравитационог међудејства са Земљом, односно услед дејства Земљине теже. Гравитациона потенцијална енергија најчешће се означава са E_{gp} , а у физици се често назива и само потенцијална енергија и означава се са E_p .



Слика 1. Паданье тела под дејством Земљине теже



Слика 2. Примери тела која имају гравитациону потенцијалну енергију:

- а) Лоптица која пада са неке висине ка Земљиној површини б) Тегови које подиже спортиста
в) Ученица која се спушта низ косу раван.



АКТИВНОСТИ

1. Зависност потенцијалне енергије од масе тела

Да би истражио како гравитациона потенцијална енергија зависи од масе тела, изведи једноставан експеримент са посудом испуњеном брашном и две лоптице за стони тенис. Прва лоптица има мању масу, а друга нека буде напуњена пиринчем, тако да има већу масу. Посуда са брашном послужиће ти као „детектор“ енергије: што је гравитациона потенцијална енергија лоптице већа, то ће отисак који остави у брашну бити дубљи. Пусту прву лоптицу да падне у брашно и измери дубину отиска који је оставила. Затим лењиром поравнај површину брашна у посуду и пусти да падне и друга лоптица са исте висине са које је пуштена прва. Која од две лоптице је направила дубљи отисак? Која од две лоптице је имала већу гравитациону потенцијалну енергију?

2. Зависност гравитационе потенцијалне енергије од висине са које је тело пуштено да пада

Једну од лоптица пусти да пада у посуду са брашном са неколико различитих висина. На пример, са 30 cm, 50 cm, 100 cm и 150 cm. У сваком случају измери дубину отиска у брашну. Не заборави да пре сваког наредног пуштања лоптице поравнаш површину брашна. Шта примећујеш? Да ли је дубина трага већа када се тело пусти са веће висине? У ком случају је лоптица имала највећу гравитациону потенцијалну енергију?

Ако си пажљиво извео активности, сигурно си приметио да је дубљи отисак оставила лоптица веће масе и да дубина отиска зависи од висине са које је лоптица пуштена. Другим речима, можемо рећи да гравитациона потенцијална енергија зависи пропорционално од масе и висине са које је тело пуштено. Пошто тела падају у близини Земљине површине, потенцијална енергија зависи и од вредности Земљиног убрзања:

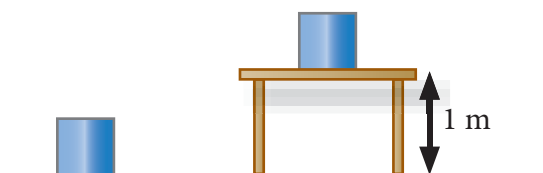
$$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Према томе, тело масе **m**, подигнуто на висину **h** у односу на неку површину, има гравитациону потенцијалну енергију која се израчунава према формули:

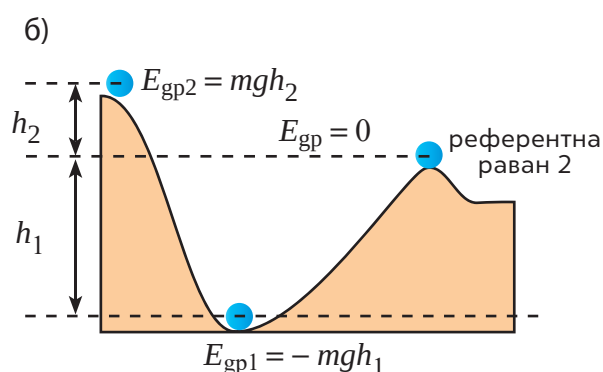
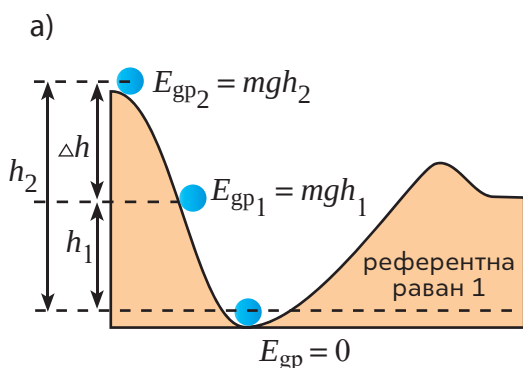
$$E_{\text{gp}} = m \cdot g \cdot h.$$

Потенцијална енергија се увек израчунава у односу на неку референтну раван или референтни ниво. **Референтна раван** је замишљена раван или ниво од кога меримо висину на којој се налази тело. То може бити под у учионици, површина клупе или, како се најчешће узима, површина Земље. Увек када израчунавамо потенцијалну енергију, морамо рећи у односу на шта посматрамо положај тела, односно шта смо узели као референтну раван. Гравитациона потенцијална енергија тела које се налази на референтној равни једнака је 0 J. На Слици 3 приказана су тела масе 1 kg која су постављена на површини Земље и на клупи висине 1 m. Ако као референтну раван узмемо површину Земље, онда тело које се налази на површини Земље има потенцијалну енергију једнаку 0 J, а тело које се налази на клупи има потенцијалну енергију једнаку 9,81 J. Ако, ипак као референтну раван узмемо површину клупе, онда је гравитациона потенцијална енергија тела у односу на површину клупе једнака 0 J, а гравитациона

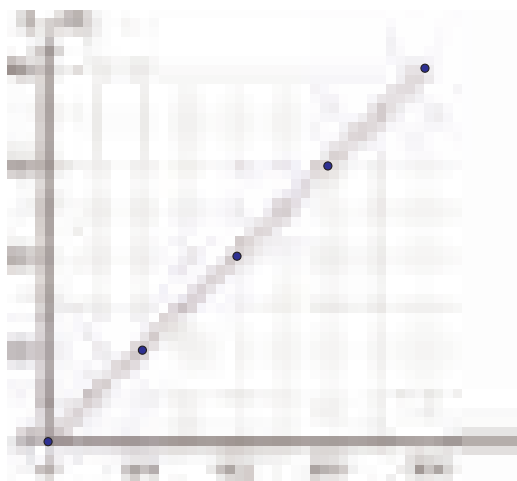
потенцијална енергија тела које се налази на површини Земље износи $-9,81 \text{ J}$. На Слици 4 приказано је како се може израчунати потенцијална енергија тела у односу на две различите референтне равни.



Слика 3. Гравитациона потенцијална енергија израчунава се у односу на изабрану референтну раван. Ако је референтна раван површина Земље, онда прво тело нема гравитациону потенцијалну енергију, а друго тело има гравитациону потенцијалну енергију



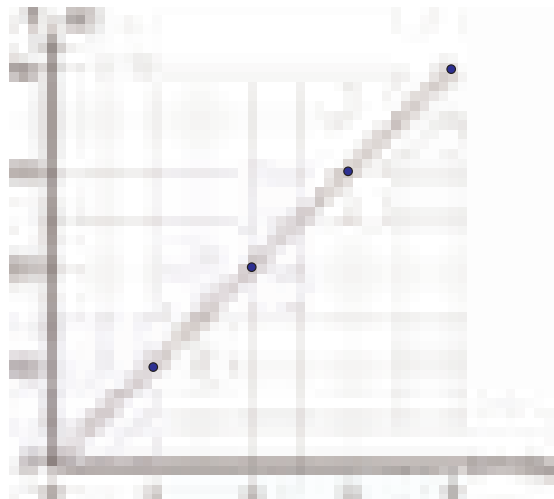
Слика 4. Потенцијална енергија тела у односу на два различита референтна нивоа. У првом случају, тело које се налази у најнижој тачки долине има гравитациону потенцијалну енергију једнаку 0 J , а у другом случају, због избора друге референтне равни, исто тело има негативну гравитациону потенцијалну енергију.



Слика 5. Зависност гравитационе потенцијалне енергије од висине тела масе 10 kg .

На Слици 5 дат је графички приказ зависности гравитационе потенцијалне енергије од висине на којој се налази тело масе 10 kg у односу на референтну раван. График је права линија. Запазите да је коефицијент правца праве (или нагиб праве) једнак тежини тела ($m \cdot g$). Ради поједностављења прорачуна узето је да вредност Земљиног убрзања износи 10 N/kg .

На Слици 6 дат је графички приказ зависности гравитационе потенцијалне енергије од масе тела. Тело се увек налази на истој висини од 1 m изнад референтне равни, а његова маса мења се од 1 kg до 4 kg. График је права линија. Запазите да је коефицијент праве (или нагиб праве) једнак производу Земљиног убрзања и висине на којој се тело налази ($g \cdot h$). Ради поједностављења прорачуна узето је да вредност Земљиног убрзања износи 10 N/kg.



Слика 6. Зависност потенцијалне енергије од масе тела, ако се тело увек налази 1 m изнад референтне равни.



РЕШЕНИ ПРИМЕР 1.

Израчунај гравитациону потенцијалну енергију тела масе 2 kg у односу на површину стола и у односу на под, ако знаш да је висина стола 0,8 m, а тело се налази на висини од 50 cm изнад стола. За вредност Земљиног убрзања узми да износи

$$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Дато:	Ако се као референтна раван узме површина стола, онда тело има гравитациону потенцијалну енергију једнаку:
$m = 2 \text{ kg}$ $h_1 = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ $h_2 = 0,8 \text{ m}$ $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$	$E_{\text{gp1}} = m \cdot g \cdot h_1 = 2 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 0,5 \text{ m} = 9,81 \text{ J}.$ Гравитациона потенцијална енергија у односу на површину Земље је:
Тражи се:	
$E_{\text{gp1}} - ?$	
$E_{\text{gp2}} - ?$	$E_{\text{gp2}} = m \cdot g \cdot (h_1 + h_2) = 2 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot (0,5 \text{ m} + 0,8 \text{ m}) = 25,5 \text{ J}.$

При решавању практичних задатака веома је важно да одредимо промену гравитационе потенцијалне енергије, односно колику гравитациону потенцијалну енергију тело добија или губи када се креће нагоре или надоле у односу на референтну раван. На Слици 4а приказана је куглица која се котрља уз косу раван. У почетном тренутку њена гравитациона потенцијална енергија износила је $E_{gp1} = m \cdot g \cdot h_1$ док је у неком каснијем тренутку износила $E_{gp2} = m \cdot g \cdot h_2$. Промену гравитационе потенцијалне енергије означавамо са ΔE_{gp} (Δ -чита се „делта“) и она је једнака:

$$\begin{aligned}\Delta E_{gp} &= E_{gp2} - E_{gp1}, \\ \Delta E_{gp} &= m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1), \\ \Delta E_{gp} &= m \cdot g \cdot \Delta h,\end{aligned}$$

где је Δh разлика у висини између почетног и крајњег положаја. Овај израз нам говори да, ако се тело подигне (повећа се висина на којој се налази у односу на референтну раван), његова гравитациона потенцијална енергија се повећава. Ако се тело спусти (смањи се висина на којој се налази у односу на референтну раван), његова гравитациона потенцијална енергија се смањује.


РЕШЕНИ ПРИМЕР 2.

Ученик се пењао степеницама са првог на други спрат, при чему му се гравитациона потенцијална енергија повећала за 1471,5 J.

а. Ако је маса ученика 40 kg, израчунај висинску разлику између почетног и крајњег положаја ученика.

б. Ако висина једног степеника износи 0,125 m, израчунај колико је степеника (n) ученик савладао.

Узми да је Земљино убрзање $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Дато:	а. На основу формуле за израчунавање промене гравитационе потенцијалне енергије можемо израчунати висинску разлику између првог и другог спрата:
$\Delta E_{gp} = 1471,5 \text{ J}$ $m = 40 \text{ kg}$ $h_1 = 0,125 \text{ m}$ $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$	$\Delta E_{gp} = m \cdot g \cdot \Delta h \Rightarrow \Delta h = \frac{\Delta E_{gp}}{m \cdot g} = \frac{1471,5 \text{ J}}{40 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}} = 3,75 \text{ m}.$
Тражи се:	Ако је висина сваког степеника $h_1 = 0,125 \text{ m}$, онда је број степеника једнак укупној висини на коју се ученик попео подељеној висином једног степеника:
$\Delta h - ?$ $n - ?$	$n = \frac{\Delta h}{h_1} = \frac{3,75 \text{ m}}{0,125 \text{ m}} = 30.$

Као и у случају кинетичке енергије, када се потенцијална енергија тела смањи или постане једнака 0 J, она не нестаје, већ се претвара у други облик енергије. Гравитациона потенцијална енергија тела најчешће се претвара у кинетичку и топлотну енергију.

ЗА 5+

Гравитациона потенцијална енергија тела израчунава се помоћу једначине $E_{\text{gp}} = m \cdot g \cdot h$ само ако се тело налази у близини Земљине површине, где се вредност Земљиног убрзања може сматрати константном. Ако се тело налази на великој удаљености од Земљине површине, онда се његова потенцијална енергија може израчунати према формули:

$$\text{зове се} \quad E_{\text{gp}} = -\gamma \frac{Mm}{R+h} \quad \text{где} \quad \gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{kg}^2}$$

Универзална гравитациона константа (γ - чита се „гама“), **M** је маса Земље, **m** је маса тела, **R** је полупречник Земље, а **h** је висина тела изнад Земљине површине. У оваквим случајевима треба напоменути да се ова потенцијална енергија израчунава у односу на референтну раван која је веома удаљена од Земље, где тело више не осећа привлачно дејство Земљине гравитационе силе.

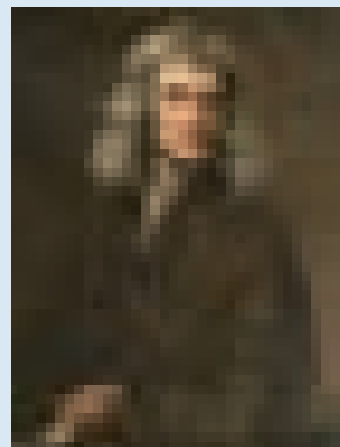
★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Исак Њутн (Isaac Newton, 1646 -1727)

Њутн је био један од најутицајнијих научника у историји. Његова открића у механици, светлости и математици променила су начин на који разумемо свет. Њутн је научник који је поставио темеље за разумевање гравитационе потенцијалне енергије. У свом најзначајнијем делу, „Principia Mathematica“ (1687), Њутн је формулисао Закон универзалне гравитације, према коме свако тело у свемиру привлачи друго тело силом која зависи од њихових маса и растојања између њих. Овај закон објашњава зашто тела падају на Земљину површину, зашто се Месец креће око Земље и зашто се планете крећу око Сунца.

Иако у време када је Њутн живео појам потенцијална енергија још није био дефинисан, његов рад поставио је физичке и математичке темеље за њено дефинисање. Једна од Њутнових идеја била је да се, сваки пут када се тело подиже против дејства

гравитације, мора извршити рад. Научници који су радили после Њутна стање у коме тело може да изврши рад назвали су гравитациона потенцијална енергија. Формула за гравитациону потенцијалну енергију тела које се не налази близу Земљине површине, дата у делу За 5+, непосредно је повезана са Њутновим законом гравитације.



ЗАНИМЛИВОСТИ

Највећу гравитациону потенцијалну енергију, у односу на Земљину површину, од објеката које је направио човек има Међународна свемирска станица, која кружи на висини од приближно 400 km изнад Земљине површине.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта представља гравитациона потенцијална енергија и од чега зависи њена величина?
 2. Како се мења потенцијална енергија ако се тело подигне на два пута већу висину?
 3. Објасни шта представља референтна раван и зашто је важно навести „у односу на шта“ израчунавамо гравитациону потенцијалну енергију.
 4. У односу на под, тело има потенцијалну енергију 196,2 J. Ако се зна да је подигнуто на висину од 2 m, колика је његова маса?
 5. Кутија масе 4 kg има потенцијалну енергију 78,48 J у односу на под.
 - а) На којој висини се налази кутија?
 - б) Ако кутију спустимо на половину те висине, колика ће бити њена нова потенцијална енергија?
 - в) Колика је промена енергије?
- У последња два задатка користи вредност

$$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}.$$



ЗАПАМТИ

- Гравитациона потенцијална енергија је енергија коју тело има због свог положаја у гравитационом пољу Земље.
- Гравитациона потенцијална енергија тела зависи правопропорционално од масе тела и висине у односу на референтну раван.
- Гравитациона потенцијална енергија израчунава се помоћу формуле $E_{\text{gp}} = m \cdot g \cdot h$, где је m маса, g гравитационо убрзање, а h висина у односу на референтну раван.
- Референтна раван је замишљена раван или ниво од којег меримо висину на којој се тело налази.
- Промена потенцијалне енергије зависи од масе тела m , вредности Земљиног убрзања g и промене висине Δh а израчунава се помоћу формуле $\Delta E_{\text{gp}} = m \cdot g \cdot \Delta h$.



Слика 7. И Месец и јабука имају гравитациону потенцијалну енергију у односу на површину Земље.

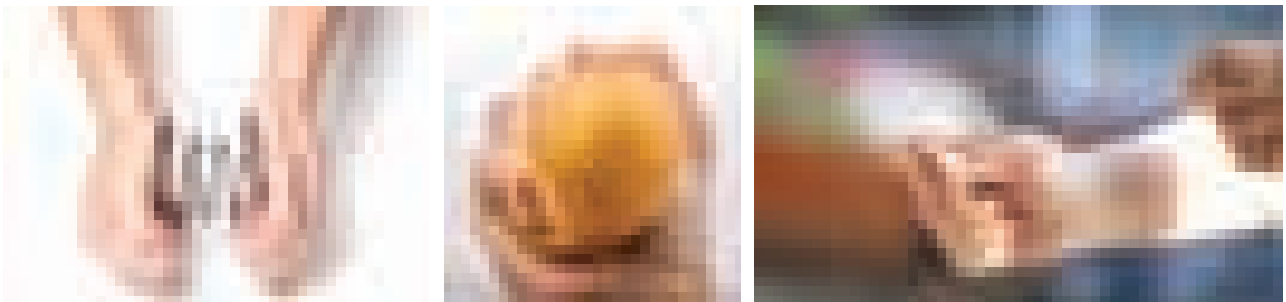
1.6. ЕЛАСТИЧНА ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕНЕРГИЈА

ПОИМИ

деформација

еластична
потенцијална
енергија ($E_{\text{еп}}$)

У VII разреду учио си о дејству силе на еластичну опругу и о томе да се опруга, ако на њу делујемо силом, издужује или сабија. Осим опруге, у свакодневном животу стално се сусрећемо са телима која имају еластична својства: гумице, еластична ужад, амортизери у аутомобилима, трамболине и др. Ова тела имају једно заједничко својство — када их издужимо или сабијемо, она настоје да се врате у свој првобитни облик. Да би се то догодило, ова тела морају да имају одређену енергију у себи. Управо ту енергију називамо **еластична потенцијална енергија**. Еластична потенцијална енергија је врста потенцијалне енергије коју има свако **деформисано еластично тело**.



Слика 1. Еластичне деформације опруге, балона и гумице

Да бисмо разумели еластичну потенцијалну енергију, најпре треба да разумемо шта је деформација. Деформација је промена облика или дужине тела под дејством силе. Ако се тело након престанка дејства силе може вратити у првобитно стање, деформација је еластична. Ако облик тела остане измењен и после престанка дејства силе, као на пример код савијене лименке, онда је реч о пластичној деформацији. У овој лекцији разматраћемо само енергију коју тела имају при еластичним деформацијама. Што више истежемо или сабијамо еластично тело, на пример опругу (при чему не сме доћи до пластичне деформације), то више повећавамо њену еластичну потенцијалну енергију. Еластичну потенцијалну енергију означавамо са $E_{\text{еп}}$ и израчунавамо је помоћу следеће формуле:

$$E_{\text{еп}} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}.$$

У овој формули k означава константу еластичности опруге, изражену у N/m , а Δl величину издужења или сабијања (деформације). Из ове формуле можемо закључити две ствари: што је деформација већа, то опруга има већу еластичну потенцијалну енергију што је константа еластичности k већа, то се при истој деформацији у опрузи складишти више енергије. Са константом еластичности опруге упознао си се у VII

разреду и научио да је она бројчано једнака сили којом треба деловати на опругу да би она променила своју дужину за јединицу, односно:

$$k = \frac{F}{\Delta l}$$



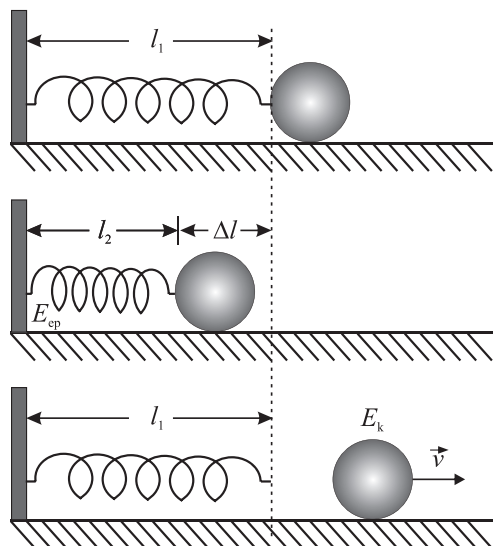
РЕШЕНИ ПРИМЕР

Једна опруга се издужи за 4 cm када на њу делује сила од 2 N.

а) Одреди константу еластичности k опруге..

б) Израчунај еластичну потенцијалну енергију коју ова опруга добија под дејством силе.

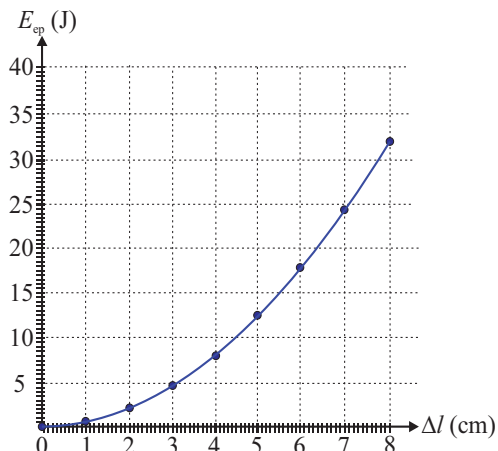
Дато:	а. У VII разреду учио си да се опруге деформишу под дејством силе и да ту деформацију можеш израчунати ако знаш константу еластичности опруге и величину издужења, односно: $F = k \cdot \Delta l$.
$F = 2 \text{ N}$ $\Delta l = 4 \text{ cm} = 0,04 \text{ m}$	Из последње једначине можемо одредити константу еластичности опруге:
Тражи се:	$k = \frac{F}{\Delta l} = \frac{2 \text{ N}}{0,04 \text{ m}} = 50 \frac{\text{N}}{\text{m}}$
$k - ?$ $E_{\text{еп}} - ?$	б. Сада, када знамо константу еластичности и издужење опруге, можемо израчунати потенцијалну енергију издужене опруге:
	$E_{\text{еп}} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2} = \frac{50 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0,04 \text{ m})^2}{2} = 0,04 \text{ J}.$



Слика 2. Еластична потенцијална енергија код сабијене опруге

На првом цртежу на Слици 2, опруга је у недеформисаном стању, при чему је њена дужина l_1 . На другом цртежу опруга је сабијена и њена дужина је l_2 . Величина сабијања износи $\Delta l = l_1 - l_2$. На трећем цртежу опруга је поново у свом првобитном, недеформисаном стању. Еластична потенцијална енергија предата је лоптици и претворила се у кинетичку енергију. На Слици 3 дат је график зависности еластичне потенцијалне енергије од издужења за опругу са константом еластичности $k = 10000 \text{ N/m}$. Као и код зависности кинетичке енергије од брзине, и овај график је квадратна крива, односно парабола.

Еластична потенцијална енергија важна је у многим механизмима: у аутомобилским амортизерима, у луковима и стрелама, у часовницима на навијање, као и у свим механичким системима који привремено складиште енергију да би је касније ослободили. Када се тело врати у почетно, недеформирано стање, његова еластична потенцијална енергија не нестаје – она се претвара у други облик енергије, најчешће у топлотну енергију, услед трења тела са другим телима, или се предаје неком другом телу у облику кинетичке енергије.



Слика 3. Зависност еластичне потенцијалне енергије опруге од издужења.



АКТИВНОСТИ

1. Балон и папирџи

Затегни балон преко цилиндра који је отворен са обе стране, направљеног од картона или пластике. На затегнути балон постави мале папирџе или зрна пиринча. Са доње стране пажљиво затегни мембрану балона и пусти је. Шта се догодило са телима која су била постављена на мембрану? У који облик енергије се претворила еластична потенцијална енергија издужене мембране?

2. Гумица и новчић

Између два чврсто закуцана ексера на дрвеној дасци завежи гумицу. Постави новчић на гумицу и, држећи новчић, истегни гумицу. Шта се дешава са новчићем када пустиш гумицу? Које су се претварања енергије догодиле? У наредним покушајима истегни гумицу мало више него у претходном покушају. Шта запажаш? Да ли је при већем истезању новчић прешао већи пут? Нацртај график зависности пређеног пута од издужења гумице. Да ли је график права линија?

3. Аутомобил на опругу

Узми аутомобил-играчку који, када га повучеш уназад и пустиш, почиње да се креће напред. Размисли шта се налази у овој играчки и добија енергију приликом повлачења уназад. Које претварања енергије настају када пустимо аутомобил да се креће? Да ли пређени пут аутомобила зависи од тога колико је био повучен уназад?

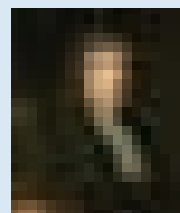


ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Роберт Хук (Robert Hooke, 1635 – 1703)

Хук је био енглески научник који је дао један од најзначајнијих доприноса разумевању еластичности. Он је први формулисао закон који данас познајемо као Хуков закон. Хук је уочио да је код многих материјала, опруга и еластичних тела величина деформације пропорционална сили која је изазива. Ово откриће представља основу формуле: $F = k \cdot \Delta l$. Овај закон не само да објашњава како се

понашају опруге, већ представља основу за проучавање материјала који се користе за изградњу мостова, зграда и мерних инструмената. Такође, Хук је пројектовао машине и часовнике и један је од оснивача микроскопске биологије. Он је први употребио реч „ћелија“ да опише најмање градивне јединице од којих су изграђени организми.



ЗА 5+

Пошто опругу можемо да истежемо или сабијамо, описујемо је као еластично тело. Међутим, у природи се готово сви материјали: метали, пластика, дрво, камен, па чак и људске кости, могу деформисати. Ова врста деформације је веома мала и често не приметна, али је физика описује физичком величином која је карактеристична за сваки материјал. Та физичка величина назива се Јунгов модул еластичности и означава се са E . Он представља својство материјала и не зависи од облика нити од величине тела.

Што је Јунгов модул већи, то је материјал тврђи и тиме се мање издужује под дејством силе. Ако је познат Јунгов модул еластичности, може се израчунати колико ће се издужити тело дужине l и попречног пресека S под дејством силе F . Формула којом се може израчунати релативно издужење је:

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{E} \cdot \frac{F}{S}$$

Познавање Јунговог модула користи се при пројектовању мостова, авиона, аутомобила, спортске опреме и медицинских имплантата.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Опруга у хемијској оловци при притиску прстом добија веома малу енергију, приближно 0,001 J. Та енергија је довољна да опруга помери врх оловке ка споља и ка унутра.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта је еластична деформација? Објасни на свом примеру када се неко тело враћа у првобитни облик.
2. Опруга се издужи за Δl . Колико пута ће се повећати потенцијална енергија опруге ако је издужимо два пута више?
3. Опруга са константом еластичности 100 N/m издужена је за 0,05 m. Израчунај њену еластичну потенцијалну енергију.
4. Колика је еластична потенцијална енергија опруге ако је њена константа 50 N/m, а опруга је сабијена за 4 cm?
5. Гумица се издужи за 3 cm, а затим још за 3 cm. Колико пута ће се повећати еластична потенцијална енергија гумице при другом издужењу у односу на прво издужење?



ЗАПАМТИ

- Деформација је свака промена облика или величине тела. Деформације могу бити еластичне и пластичне.
- Еластична потенцијална енергија је енергија коју има деформисано еластично тело. Тело добија ту енергију када се издужује или када се сабија.
- Еластична потенцијална енергија ослобађа се када се тело враћа у првобитни облик.
- Формула за израчунавање еластичне потенцијалне енергије је: $E_{\text{еп}} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$, где је $E_{\text{еп}}$ означена еластична потенцијална енергија (изражена у J), k је константа еластичности (изражена у N/m), а Δl је издужење или деформација (изражена у m).

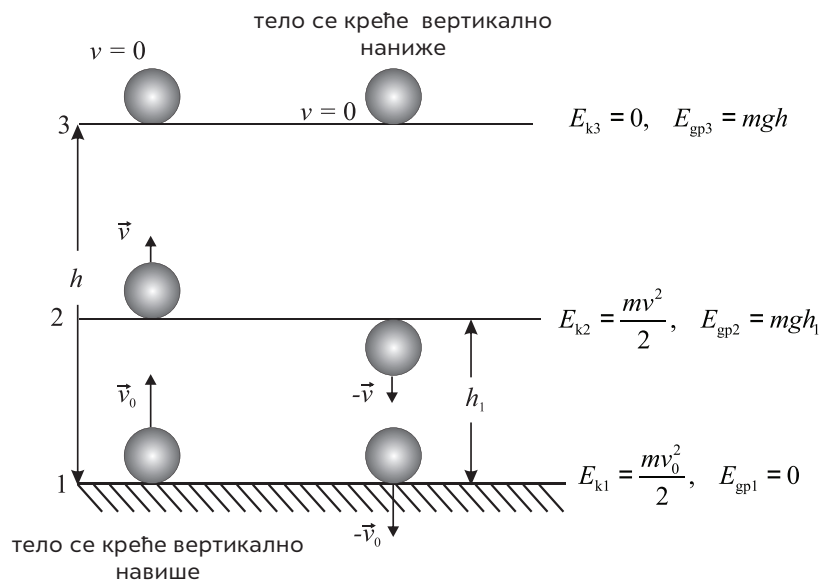
1.7. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ МЕХАНИЧКЕ ЕНЕРГИЈЕ

ПОИМИ

механичка
енергијаизоливан
системзакон о одржању
механичке енергије

У претходним лекцијама учили смо да тело може имати кинетичку енергију када се креће и потенцијалну енергију када се налази на некој висини изнад референтне равни или је еластично деформисано. Ова два облика енергије (кинетичка и потенцијална енергија) заједно чине механичку енергију тела. Механичка енергија не нестаје нити се поново ствара, већ се претвара из једног облика у други. Ако кретање тела или појаве посматрамо без узимања у обзир дејства сила трења, онда кажемо да тело или појаву посматрамо као **изоливан систем**, односно да је изоливан систем физички систем који са својом околином не размењује ни материју ни енергију.

У изоливаном систему важи један од најважнијих закона у физици: **Закон о одржању механичке енергије**. Према овом закону, ако на тело не делују силе трења и отпора ваздуха, укупна механичка енергија остаје иста. То значи да се збир потенцијалне и кинетичке енергије не мења.



Слика 1. Претварање кинетичке у гравитациону потенцијалну енергију тела баченог вертикално навише

Према овом закону, укупна механичка енергија тела се одржава и може се записати као збир његове кинетичке и потенцијалне енергије, односно:

$$E = E_k + E_p = \text{const},$$

где је E укупна механичка енергија тела, E_k је кинетичката енергија тела, а E_p потенцијална енергија, која може бити еластична или гравитациона.

Размотримо како се мења енергија лоптице коју бацимо вертикално навише почетном брзином v_0 , као што је приказано на Слици 1. У почетном тренутку тело има само кинетичку енергију. Како се тело пење, тако се његова кинетичка енергија смањује, а истовремено се повећава гравитациона потенцијална енергија. У највишој тачки путање брзина тела је једнака нули, па тело нема кинетичку енергију. У тој тачки тело има само гравитациону потенцијалну енергију. Када тело почне да пада наниже, његова гравитациона потенцијална енергија се смањује, а истовремено се повећава његова кинетичка енергија. У тренутку непосредно пре удара о површину, целокупна гравитациона потенцијална енергија претворила се у кинетичку енергију тела. За било које две тачке путање кретања тела можемо записати:

$$E_1 = E_2,$$

где је E_1 укупна механичка енергија тела у првој произвољној тачки путање, а E_2 укупна механичка енергија тела у другој произвољној тачки путање. Исту једначину можемо записати и преко кинетичких и потенцијалних енергија које тело има у обе тачке:

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}.$$

При томе су E_{k1} и E_{p1} кинетичка и потенцијална енергија у првој тачки, а E_{k2} и E_{p2} кинетичка и потенцијална енергија тела у другој тачки путање. Пошто је укупна енергија тела у тачки 1 једнака кинетичкој енергији тела, а у тачки 3 тело има само гравитациону потенцијалну енергију, према Закону о одржању механичке енергије можемо записати:

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} = m \cdot g \cdot h.$$

Ако сакаме да го запишемо законот во точката 1 и во точка која се наоѓа на висина h_1 над површината на Земјата имаме:

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} + m \cdot g \cdot h_1$$


РЕШЕНИ ПРИМЕР

Лоптица масе 0,2 kg пушта се да пада према површини Земље са висине 1,5 m без почетне брзине. Претпоставља се да нема трења нити отпора ваздуха. Колика је њена брзина непосредно пре него што додирне под? Узети да је убрзање Земљине теже $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Дато:	Лоптица у почетном тренутку има само гравитациону потенцијалну енергију, док у тренутку непосредно пре удара о површину има само кинетичку енергију. Према Закону о одржању механичке енергије у изолованом систему, важи:
$m = 0,2 \text{ kg}$	$E_{p1} = E_{k2}$
$h = 1,5 \text{ m}$	
$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$	Од последње једначине за брзину добијамо: $m \cdot g \cdot h = \frac{m \cdot v^2}{2}$

Тражи се:

$v - ?$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1,5 \text{ m}} = 5,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

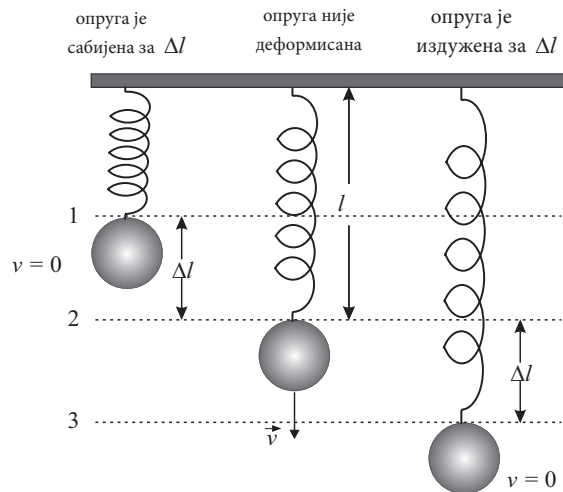
Запазио си да за решавање овог задатка није било потребно знати вредност масе тела. То значи да брзина којом ће тело пасти на подлогу, у одсуству отпора ваздуха, не зависи од масе тела.

На Слици 2 приказано је тело које је причвршћено за опругу. Укупна енергија овог система је збир еластичне потенцијалне енергије и кинетичке енергије лоптице.

Ако са Δl означимо деформације опруге у првој и трећој тачки, а са v означимо брзину која има причвршћена лоптица када опруга није издужена, онда према Закону о одржању механичке енергије, за ове две тачке можемо записати:

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} = E_{k3} + E_{p3}$$

$$\frac{k \cdot \Delta l^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{k \cdot \Delta l^2}{2}$$



Слика 2. Претварање еластичне потенцијалне енергије у кинетичку енергију и обрнуто код изолованог система који се састоји од опруге и тела масе m .



АКТИВНОСТ

1. Претварање енергије код математичког клатна

Окачи малу металну лоптицу на нерастегљив конач, а конач причврсти држачем за хоризонталну подлогу. Овакав систем се у физици назива математичко клатно. Помери лоптицу из равнотежног положаја и пусти је. Кретање овог система је периодично. Такво кретање назива се осцилаторно кретање. Објасни коју енергију има лоптица непосредно пре него што је пустиш да осцилује. Када лоптица има максималну кинетичку енергију? Пусти лоптицу са различитих висина и израчунај брзину којом лоптица пролази кроз равнотежни положај. Нацртај график зависности брзине којом лоптица има у равнотежном положају од висине са које је пуштена. Да ли је график права? Да ли је математичко клатно изолован систем? Да ли ће после извесног времена лоптица престати да се креће?

ЗА 5+

Закон о одржању механичке енергије може се применити при сударима два тела која се при судару не деформишу нити слеplјују. Такви судари називају се еластични судари. Пример еластичног судара је судар две билијарске кугле или два камена у игри карлинг. Ако при решавању проблема који укључују сударе можемо занемарити силе трења, можемо применити Закон о одржању механичке енергије.



ЗАНИМЉИВОСТИ

У свемиру, где нема ваздуха ни трења, механичка енергија тела одржава се готово савршено, па се сателити могу кретати истом брзином око Земље без утrophка енергије..

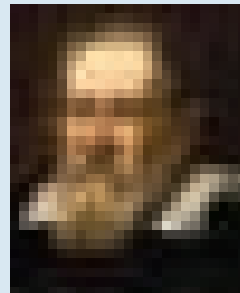


ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Галилео Галилеј (Galileo Galilei, 1564–1642)

Галилеј је био један од најсмелијих научника у историји, човек који се усудио да природне законе проверава експериментом, а не само размишљањем. У Галилејево време веровало се да „тежа тела падају брже од лакших“. Галилеј је посумњао у ову тврдњу и почео да посматра како падају различити предмети. Познат је експеримент са телима која је пуштао да падају са Кривог торња у Пизи, где је пустио две кугле различите масе да падају са исте висине. Супротно очекивањима тадашњих филозофа, обе кугле стигле су до подножја торња готово у исто време. Ту се јавља његово

најважније сазнање: идеја о одржању механичке енергије. Галилеј је уочио да се при паду тела његова потенцијална енергија постепено претвара у кинетичку енергију. Закључио је да би се, ако се тела крећу у безваздушном простору где нема отпора ваздуха, сва тела кретала истим убрзањем при паду, а укупна механичка енергија тела остала би непромењена.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Замисли да можеш да бациш лопту истом почетном брзином на Земљи и на Месецу. Имајући у виду да је на Месецу гравитационо убрзање шест пута мање, објасни у ком случају ће се лопта попети на већу висину у односу на референтну раван..
2. Које две врсте енергије чине механичку енергију?
3. Мала ледена комета креће се око планете по елиптичној орбити. У најудаљенијој тачки орбите има кинетичку енергију од 2000 J и гравитациону потенцијалну енергију од 8000 J. Колика је њена кинетичка енергија када се нађе у тачки у којој је потенцијална енергија 6000 J?
4. Лоптица се баца вертикално навише. У једној тачки кретања лоптица се налази на висини од 0,2 m изнад референтне равни и има брзину од 3 m/s. Колика ће бити њена брзина у тачки на висини од 0,6 m, ако можеш занемарити трење ваздуха?
5. Лоптица се котрља са врха косе равни висине 1 m. Израчунај брзину коју ће лоптица имати на крају косе равни.

У последња два задатка користи вредност $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.



ЗАПАМТИ

- Механичка енергија је збир кинетичке и потенцијалне енергије тела.
- Када нема трења ни отпора ваздуха, кретање тела може се посматрати као изолован систем.
- У изолованом систему важи Закон о одржању механичке енергије: укупна механичка енергија остаје константна.
- Код система са опругом, укупна механичка енергија је збир еластичне потенцијалне енергије и кинетичке енергије.

1.8. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ ЕНЕРГИЈЕ

ПОИМИ

Закон о одржању енергије

При сваком кретању тела постоји трење са честицама ваздуха или трење са подлогом по којој се тело креће. У тим случајевима кажемо да систем није изолован, већ да може да размењује енергију са околином.

Размотримо санке које клизе по снегу низ косу раван која прелази у хоризонталну подлогу у подножју брда. Спуштајући се низ брдо, санкама се смањује гравитациона потенцијална енергија и један део те енергије претвара се у кинетичку енергију, али се део енергије претвара у топлоту као последица трења санки о снег и трења са честицама ваздуха. Када се санке крећу по хоризонталној површини, њихова кинетичка енергија се смањује и на крају престају да се крећу. Кажемо да се кинетичка енергија у потпуности претворила у топлоту. У VII разреду учио си да је трење сила која се супротставља кретању. Када су две површине у додиру и крећу се једна по другој, настаје топлота. Та топлота је последица претварања дела механичке енергије у топлотну енергију.

У оваквим случајевима механичка енергија се не одржава у потпуности, већ се њен део претвара у топлотну енергију. Али и тада, ако узмемо у обзир све облике енергије, укупна енергија система остаје иста. То је основа још општијег закона – **Закон о одржању енергије**. Закон о одржању енергије можемо записати помоћу Закона о одржању механичке енергије, односно:

$$E_1 = E_2 + Q$$

где је E_1 укупна механичка енергија тела у произвољној првој тачки путање, E_2 укупна механичка енергија тела у произвољној другој тачки путање, а Q механичка енергија која се претвара у топлоту.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

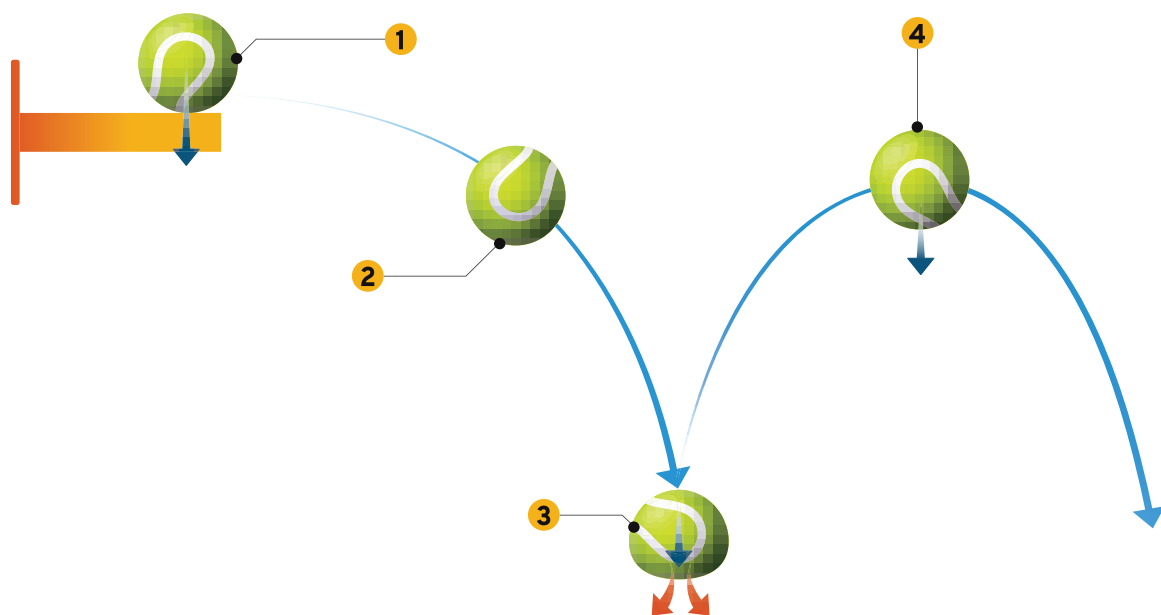
Ученик и санке укупне масе 40 kg налазе се на врху брда висине 12 m. Ученик се са санкама спушта низ падину и креће се ка подножју брда. Због трења са снегом, 30 % почетне потенцијалне енергије претвара се у топлоту, а остатак у кинетичку енергију.

- Колика је почетна гравитациона потенцијална енергија санки и ученика на врху брда?
- Израчунај колики део гравитационе потенцијалне енергије се претворио у топлоту.
- Колика је брзина санки непосредно пре него што стигну до подножја брда?

За вредност Земљиног убрзања користи

$$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}.$$

Дато:	а) На врху брда ученик са санкама има само гравитациону потенцијалну енергију:
$m = 40 \text{ kg}$ $h = 12 \text{ m}$ $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$ $k = 30\% = 0,3$	$E_{\text{gp1}} = m \cdot g \cdot h = 40 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 12 \text{ m} = 4709 \text{ J}$ б) Пошто је реч о систему који није изолован, део почетне гравитационе потенцијалне енергије претвара се у топлоту, односно: $Q = k \cdot E_{\text{gp}} = 0,3 \cdot 4709 \text{ J} = 1413 \text{ J}.$ в) Користећи Закон о одржању енергије, имамо:
Тражи се:	$E_{\text{gp1}} = E_{\text{k2}} + Q,$
$E_{\text{gp1}} - ?$ $Q - ?$ $v - ?$	$E_{\text{gp1}} = \frac{m \cdot v^2}{2} + Q,$ $v = \sqrt{\frac{2}{m}(E_{\text{gp1}} - Q)} = \sqrt{\frac{2}{40 \text{ kg}}(4709 \text{ J} - 1413 \text{ J})} = 12,8 \text{ m/s}.$



Слика 1. Одскок тениске лоптице

На Слици 1 приказане су претварања енергије које настају када тениска лоптица пада са одређене висине и одскочи од подлоге. У почетном положају (1) лоптица има само гравитациону потенцијалну енергију. Током пада гравитациона потенцијална енергија се смањује, а повећава се кинетичка енергија лоптице (2). Када лоптица удари у подлогу (3), мења се њен облик. Кинетичката енергија претвара се у еластична

потенцијална енергија. Приликом враћања у првобитни облик, еластична потенцијална енергија претвара се у кинетичку енергију. У највишој тачки (4) лоптица ће поново имати само гравитациону потенцијалну енергију. Лоптица неће одскочити до висине са које је пуштена, јер се део механичке енергије претвара у топлоту услед трења лоптице са ваздухом и подлогом при удару о њу.

Разумевање Закона о одржању енергије помаже нам да разумемо многе природне појаве: пад тела, кретање планинских река, рад машина, али нам омогућава и да схватимо како се енергија преноси са једног тела на друго и прерасподељује у природи. То представља основу за даље проучавање механике, енергетике и технике.



АКТИВНОСТ

1. Проучавање Закона о одржању енергије помоћу интерактивне интернет странице

PhET Interactive Simulations је бесплатна образовна платформа коју је развио Универзитет Колорадо Боулдер (University of Colorado Boulder). Пројекат је покренуо нобеловац за физику Карл Вајман (Carl Wieman) са циљем да физичке законе учини разумљивијим помоћу интерактивних, визуелних и истраживачких симулација. Страница садржи више од 150 симулација из физике, хемије, биологије, математике и геологије (науке о Земљи). Странице можеш приступити преко следеће адресе: <https://phet.colorado.edu/>.

На интернет страници <https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park>, налази се симулација „Енергетски скејт парк“ (Energy Skate Park), која ће ти омогућити да истражујеш Закон о одржању механичке енергије, односно како се потенцијална енергија претвара у кинетичку енергију и обрнуто, при кретању скејтера по различитим стазама. Можеш мењати масу скејтера, изабрати различите стазе по којима ће се кретати, мењати вредност гравитационог убрзања и посматрати графике потенцијалне, кинетичке и укупне механичке енергије. У апликацији можеш укључити и силу трења и проучавати Закон о одржању енергије, односно како се током кретања део енергије претвара у топлоту.

ЗА

5+

Када се два тела сударе и при томе дође до деформације њиховог облика или до њиховог слепљивања, кажемо да су се тела пластично сударила. У том случају не важи Закон о одржању механичке енергије. Код пластичних судара, услед деформација, долази до промене њихове унутрашње енергије, односно део кинетичке енергије претвара се у топлоту или у енергију звука. Код ових судара важи Закон о одржању енергије.



ЗАНИМЉИВОСТИ

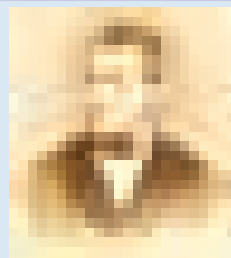
Perpetuum mobile или „вечна машина“ био би уређај који производи више енергије него што троши. То значи да би стварао енергију „ни из чега“, што директно крши Закон о одржању енергије. Данас је познато да не постоји ниједна природна појава при којој се енергија појављује или нестаје. Први цртежи „вечних машина“ појавили су се још у XIII веку, када су проналазачи замишљали тачкове са различито распоређеним тежиштем или водене системе који би се сами покретали.

Током средњег века, па чак и у XIX веку, многи даровити инжењери покушавали су да надмудре природу, али је сваки покушај био неуспешан. И данас научним институтима и даље пристижу предлози за израду оваквих машина, који се по правилу одмах одбацују, јер нарушавају основне законе физике.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Јулијус Роберт фон Мајер (Julius Robert von Mayer 1814–1878)

Јулијус Мајер био је немачки лекар и физичар који је први јасно формулисао принцип да се енергија не може створити нити уништити — она се само претвара из једног облика у други. Тај принцип данас познајемо као Закон о одржању енергије, а Мајер је један од његових најзначајнијих утемељивача. Занимљиво је да Мајер до ове идеје није дошао у лабораторији, већ на броду, посматрајући боју крви морнара у тропским



пределима. Наиме, крв у венама са мањом количином кисеоника светлија је од крви која садржи већу количину кисеоника. Већа количина кисеоника присутна је код људи који раде у хладним пределима, због веће потребе организма за стварањем топлоте. Фон Мајер је уочио да организам производи мање топлоте у топлој клими, што га је навело да размишља о томе како тело претвара енергију из хране у механички рад и топлоту. На основу ових запажања, Мајер је закључио да енергија никада не нестаје, већ само мења свој облик. Године 1842. објавио је прву формулацију Закона о одржању енергије, тврдећи да су топлота и механички рад само различити облици једне исте физичке величине.

✎ ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Да ли Закон о одржању енергије у себи садржи Закон о одржању механичке енергије? У ком случају су ова два закона идентична?
2. Кроасан пада са стола на под. Зашто је његово крцкање при удару доказ да механичка енергија није нестала? У шта се она претвара?
3. Тело пада са висине од 5 m на под. Израчунај топлотну енергију која се ослободила при удару тела о подлогу, сматрајући да се при паду не ствара звук.
4. Лопта масе 0,15 kg пада са висине од 2,0 m. После удара о подлогу, подигне се до висине од 1,2 m. Колика се механичка енергија претворила у топлоту и звук при удару?
5. Лоптица масе 0,3 kg котрља се низ косу равну висине 1,8 m. Почетна брзина којом је лоптица почела да се котрља са врха равни била је 1 m/s. При кретању се 20 % укупне енергије губи као топлота. Колика је брзина лоптице на крају косе равни?

💡 ЗАПАМТИ

- Када постоји трење између тела и ваздуха или подлоге, систем није изолован и део механичке енергије претвара се у топлотну енергију.
- У неизолованом систему механичка енергија се не одржава.
- Закон о одржању енергије општији је од Закона о одржању механичке енергије: енергија никада не нестаје нити се ствара, већ се само претвара из једног облика у други.

1.9. МЕХАНИЧКИ РАД

ПОИМИ

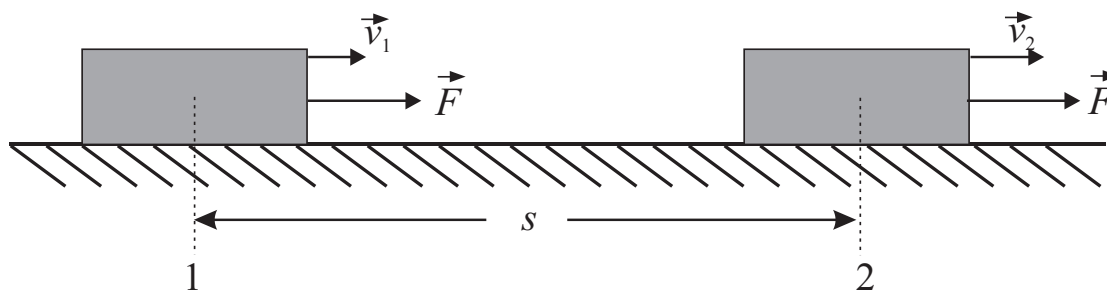
механички рад (A)

У свакодневном животу често кажемо да „радимо“ – када пишемо домаћи задатак, копамо у башти или померамо намештај. Међутим, у физици реч рад има веома прецизно значење. **Механички рад** врши се само када се под дејством силе неко тело помера. Ако гурамо масиван ормар, а он се не помера са места, иако смо се уморили, у физичком смислу кажемо да није извршен механички рад, јер се тело није померило. Ако, међутим, истом силом делујемо на тело мање масе и успемо да га померимо, то је већи механички рад, зато што је на тело пренета енергија.

Рад је мера преноса енергије на тело на које делује сила. Што је сила већа или што је веће растојање за које се тело помери (померај тела) под дејством те силе, то је извршен већи механички рад. На Слици 1 приказано је померање једног тела у правцу и смеру дејства силе. Механички рад означавамо са A и израчунавамо га помоћу следеће формуле:

$$A = F \cdot s,$$

где је F величина силе која врши рад, а s величина помераја у смеру силе. Основна јединица за механички рад је џул (J). Рад од 1 J извршен је када сила од 1 N помери тело за 1 m. То је веома мала количина рада. Помоћу ове формуле можеш израчунати да је за подизање чоколаде масе 100 g на висину од 1 m потребан рад од приближно 1 J. Зато се у практичним ситуацијама рад изражава у kJ или MJ.



Слика 1. Сила F врши механички рад, померајући тело из положаја 1 у положај 2.

Када вршимо рад, мењамо енергију тела. Ако подигнемо књигу са пода на полицу, над књигом је извршен рад и она добија већу гравитациону потенцијалну енергију. Када гурамо колица напред, сила којом делујемо на тело повећава кинетичку енергију колица. При истезању опруге вршимо рад који се претвара у еластичну потенцијалну енергију опруге. Зато кажемо да је механички рад увек повезан са преносом или променом енергије.

Према Закону о одржању енергије, енергија се не може створити нити нестати, већ се само претвара из једног облика у други или се преноси са једног тела на друго. Када тело врши рад, оно предаје део своје енергије; када се над њим врши рад, тело прима енергију. На пример, када тело пада са одређене висине на површину Земље, на њега делује Земљина гравитациона сила. Кажемо да гравитациона сила врши рад, при чему се гравитациона потенцијална енергија тела смањује. Ако ми подижемо тело са референтне равни на одређену висину, онда се рад који вршимо претвара у гравитациону потенцијалну енергију тела.

Рад може бити позитиван, негативан или једнак нули. Позитиван рад имамо када су смер силе и смер помераја исти. Имајући то у виду, у претходном примеру можемо рећи да гравитациона сила врши позитиван рад када тело пада. Негативан рад врши се када сила делује супротно смеру кретања. Сила трења је увек усмерена супротно смеру брзине тела, па је зато механички рад који врши сила трења негативна величина.

Механички рад једнак је нули ако се тело не помера или ако сила делује под правим углом у односу на смер у ком желимо да померимо тело, као када држимо тежак ранац, а не померамо га.


РЕШЕНИ ПРИМЕР 1.

Ученик гура кутију с књигама по хоризонталној равни силом од 60 N, при чему се кутија помери за 6 m у смеру дејства силе. Сила трења износи 20 N.

- Колики рад врши ученик?
- Колики рад врши сила трења?
- Колика је промена механичке енергије кутије?

Дато:	а). Механички рад који врши ученик је:
$s = 6\text{ m}$ $F = 60\text{ N}$ $F_{\text{тр}} = 20\text{ N}$ $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$	$A_1 = F \cdot s = 60\text{ N} \cdot 6\text{ m} = 360\text{ J}.$
Тражи се:	б). Рад силе трења је негативан, јер је дејство силе трења усмерено супротно смеру помераја:
$A_1 - ?$ $A_{\text{тр}} - ?$ $\Delta E - ?$	$A_{\text{тр}} = -F_{\text{тр}} \cdot s = -20\text{ N} \cdot 6\text{ m} = -120\text{ J}.$
	в). Промена механичке енергије једнака је укупном раду који су извршиле обе силе:
	$\Delta E = A_1 + A_{\text{тр}} = 360\text{ J} - 120\text{ J} = 240\text{ J}.$
	Запазио си да је ова промена укупне механичке енергије заправо промена кинетичке енергије тела, јер се тело креће по хоризонталној равни.

Важно је знати да рад не зависи од облика путање, већ само од почетног и крајњег положаја тела. Овај закључак нам омогућава да вршимо рад мањом силом. Без обзира на то да ли неки предмет подижемо вертикално навише или га гурамо уз косу раван, ако смо га подигли на исту висину у односу на референтну раван, извршени рад је исте величине. Оно што се мења јесте величина силе којом треба да делујемо. Зато је један од најстаријих и најважнијих начина да се олакша вршење механичког рада употреба косе равни или рампе. Она омогућава да се много мањом силом подигне терет на исту висину него када би се подизао вертикално навише. Замисли да треба да подигнеш кутију масе 50 kg на висину од 1 m. Ако је подигнеш вертикално навише, мораш да делујеш силом једнаком тежини кутије. Али ако користиш косу раван дужине 5 m, сила којом делујеш је много мања, иако је пут дужи. Укупан рад је исти, јер у оба случаја тело добија исту гравитациону потенцијалну енергију, али је рад помоћу рампе знатно лакше извести. То показује и формула за рад:

$$A = F \cdot s \Rightarrow F = \frac{A}{s}$$

Ако је померај већи, потребна сила је мања – зато су косе равни и дугачки путеви уз брдо толико корисни у свакодневном животу. На Слици 2 приказано је подизање лопте на одређену висину и гурање исте лопте уз косу раван до исте висине. У другом случају лопта се помера више у односу на почетни положај, али је зато сила којом се делује мања.



Слика 2. У оба случаја извршен је исти рад.



РЕШЕНИ ПРИМЕР 2.

Тело масе 30 kg треба подићи на висину од 1 m.

- Изрчунај механички рад потребан да се тело подигне вертикално навише?
- Коликом силом треба деловати на тело ако се за његово подизање на исту висину користи коса раван дужине 4 m? Занемарити трење тела о раван.

За вредност Земљиног убрзања узети да је:

$$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

Дато:	а.) Да би се тело подигло навише, потребно је деловати силом једнаком тежини тела, односно:
$m = 30 \text{ kg}$ $s_1 = 1 \text{ m}$ $s_2 = 4 \text{ m}$ $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$	$A = F \cdot s_1 = G \cdot s_1 = m \cdot g \cdot s_1 = 30 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \cdot 1 \text{ m} = 294,3 \text{ J}.$
Тражи се:	б.) Исти рад сада треба извршити када се тело гура уз косу раван, али је сада, да би се подигло на висину од 1 m, потребно да се тело помери за 4 m дуж косе равни. За силу која је потребна да делује на тело важи:
$A = ?$ $F_2 = ?$	$A = F_2 \cdot s_2 \Rightarrow F_2 = \frac{A}{s_2} = \frac{294,3 \text{ J}}{4 \text{ m}} = 73,6 \text{ N}.$



АКТИВНОСТИ

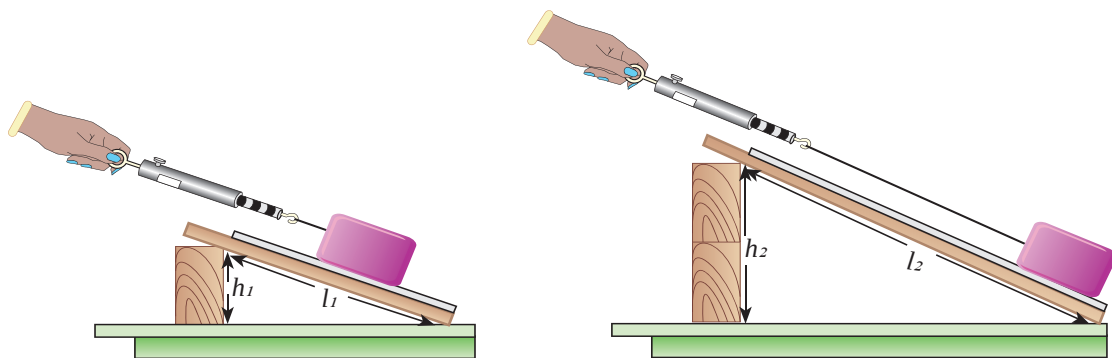
1. Коса раван и сила вучења

Узми дрвену даску дужине приближно једног метра, мала колица или тег и динамометар који ће ти показати коликом силом треба да делујеш да би повукао тело у одређеном смеру. Најпре постави даску готово вертикално, као импровизовану малу „стену“. Закачи динамометар за колица или за тег и почни пажљиво да вучеш тело навише сталном брзином. Динамометар показује потребну силу за подизање тела на одређену висину, која је једнака тежини тела.

У другом делу ове активности постави један крај даске на дрвени блок, тако да даска сада представља косу раван. Измери висину на коју си подигао даску и њену укупну дужину; ове две величине показаће ти колико је нагиб стрм. Поново закачи динамометар за колица и вуци их уз косу раван сталном брзином. Да ли је сила којом делујеш мања или већа од силе којом си подизао тело вертикално навише? Поступак вучења тела уз косу раван понови и за веће нагибе косе равни. За сваки нагиб измери силу којом вучеш тело. Шта можеш да закључиш? Резултате мерења унеси у табелу:

	Висина h (cm)	Дужина l (cm)	Количник $\frac{h}{l}$	Сила вучења F (N)	Тежина G (N)	Количник $\frac{F}{G}$
1.						
2.						
3.						

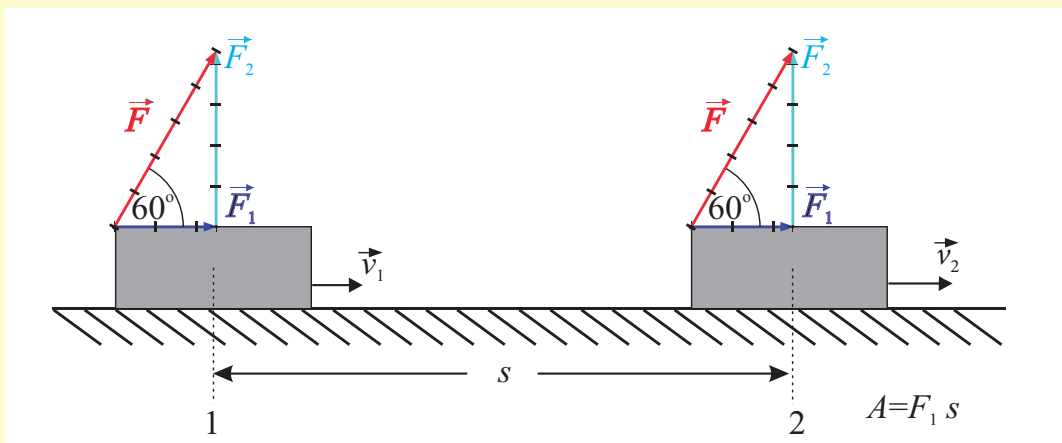
Како се мења сила којом си вукао тело са променом висине? Да ли је сила вучења увек мања од тежине? Каква је веза између односа h/l и потребне силе? Зашто коса раван олакшава подизање?



Слика 3. Кретање тела сталном брзином уз косу раван.

ЗА 5+

У многим стварним ситуацијама сила не делује у правцу кретања тела. На пример, када вучемо кофер за ручку или санке помоћу ужета, сила заклапа одређени угао са хоризонталном површином. Међутим, тело се креће у одређеном смеру. Због тога рад не врши целокупна сила, већ само њена компонента која делује у смеру помераја тела. Да бисмо израчунали рад силе која делује под одређеним углом у односу на померај, потребно је одредити компоненту силе у правцу помераја. На Сlici 4 приказано је дејство силе $F = 5 \text{ N}$ под углом од 60° у односу на хоризонталну површину. Ако се сила разложи на компоненте, од којих је једна у правцу помераја (F_1), а друга нормална на правац помераја (F_2), лако се може одредити да хоризонтална компонента силе износи $2,5 \text{ N}$. Рад ове компоненте силе може се израчунати помоћу формуле за механички рад. Рад вертикалне компоненте силе једнак је нули, јер она делује под правим углом у односу на померај.



Слика 4. Рад силе која делује под углом у односу на померај тела

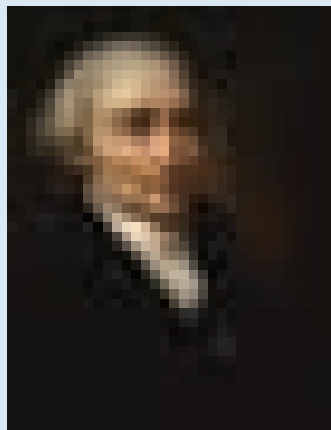


ЗАНИМЉИВОСТИ

Планинске стазе су дугачке управо зато што представљају „природне косе равни“. Иако се планинари крећу дужиим путем, они користе мању силу да би се попели на врх планине.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Жозеф Луј Лагранж (Joseph-Louis Lagrange, 1736–1813)



Лагранж је био један од највећих европских математичара и физичара. Рођен у Торину, у Италији, још као млад био је фасциниран питањем: „Шта одређује кретање тела?“ Уместо да проучава кретање само преко сила, као Њутн, Лагранж је схватио да се кретање може много јасније објаснити ако се прати како се мења енергија тела и колики је рад потребан за то кретање. Он је први разумео везу између кинетичке енергије, потенцијалне енергије и механичког рада. Лагранж је показао да се тело увек креће путањом дуж које се врши најмањи могући рад, што је касније постало основа модерне механике (дела физике који повезује рад, енергију и кретање тела).



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Зашто кажемо да није извршен механички рад ако се тело не креће, иако на њега делује сила?
2. Када сила врши негативан механички рад над телом? Наведи пример.
3. Зашто је укупан рад при подизању терета на одређену висину исти и када се користи коса раван и када се терет подиже директно вертикално?
4. Колица се гурају по поду силом од 10 N, при чему се помере за 2,5 m. Колики је извршен рад? Ако знаш да је сила трења износила 1 N, израчунај колики је рад извршила сила гурања.
5. Лифт подиже кутију масе 25 kg на пети спрат, на висину од 12 m.
 - а) Колики рад врши лифт при подизању кутије?
 - б) Ако је за ово подизање лифту потребна енергија од 8 kJ, колико је енергије изгубљено услед трења, отпора и загревања механизма?



ЗАПАМТИ

- Механички рад врши се само када се тело помера под дејством силе.
- Механички рад израчунава се помоћу формуле $A = F \cdot s$, где је А механички рад, F сила, а s величина помераја тела у смеру деловања силе.
- Основна јединица за рад је џул (J).
- Када сила врши механички рад, мења се енергија тела.
- Извршени механички рад не смањује се употребом косе равни, већ се смањује сила потребна за вршење рада.
- Механички рад може бити позитиван, негативан или једнак нули, у зависности од смера кретања и од правца и смера деловања силе.
- Механички рад, енергија и кретање нераскидиво су повезани, а свака промена енергије резултат је извршеног рада.

1.10. СНАГА И СТЕПЕН КОРИСНОГ ДЕЈСТВА

ПОИМИ

снага (P)

ват (W)

степен корисног дејства/
ефикасност

СНАГА

У свакодневном животу често кажемо да нека машина „ради брже“ или да је „снажнија“ од друге. Понекад два ученика изврше исти рад. На пример, попну се на исти спрат у школи, али један од њих стигне за 10 s, а други за 20 s. Иако су оба ученика извршила механички рад исте величине, један од њих је завршио рад брже и кажемо да има већу снагу. Или, две сијалице нека светле један минут. Једна троши мање енергије од друге. Иако је време исто, друга сијалица је потрошила више енергије, што значи да има већу снагу.

У физици, снага показује колики се рад изврши у јединици времена, али и колико се енергије троши или претвара у други облик у јединици времена. Ако је рад исти, а време краће, онда је снага већа.

Снагу у физици означавамо словом P и она се израчунава као количник извршеног рада A и времена t за које је тај рад извршен:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Може се рећи и да снага представља брзину којом се врши неки рад. Ако се рад изражава у J, а време у s, добија се јединица за снагу – ват (W). Један ват представља снагу када се изврши рад од 1 J за време од 1 s.

Снага се може дефинисати и преко утрошене или пренете енергије са једног тела на друго. Ако словом E означимо енергију која је утрошена или предата другом телу, онда се снага може израчунати према формули:

$$P = \frac{E}{t}.$$

Зато сијалице, апарати, мотори и електрични уређаји увек имају ознаку своје снаге изражену у W или kW – управо да би показали којом брзином троше или претварају енергију. Помоћу снаге веома лако могу да се објасне разлике између уређаја. Прашину можемо да покупимо и ручном четком и усисивачем. Али усисивач има мотор са много већом снагом и зато за кратко време обави исти рад за који би нам ручно било потребно много више времена. Исто важи и за две сијалице: ако имају различиту снагу, сијалица веће снаге светлеће јаче јер у једној секунди претвара више електричне енергије у светлост.

Ако знамо колика је снага неког уређаја, онда можемо израчунати колики рад може да се изврши у одређеном временском интервалу. Рад се може израчунати према формули:

$$A = P \cdot t.$$

Из последње једначине можемо закључити да рад од 1 J изврши уређај или машина чија је снага 1 W за време од 1 s. Зато се рад често, уместо у J, изражава у ват-секунда-ма (Ws) или киловат-часовима (kWh). Потрошена електрична енергија удомаћинствима мери се у kWh, $1\text{ kWh} = 1000\text{ W} \cdot 3600\text{ s} = 3600000\text{ J}$.

Електрични уређај / Машина	Снага
ЛЕД сијалица	5–15 W
Лаптоп	30–90 W
Фрижидер	100–250 W
Електрични бојлер	1500–3000 W
Клима-уређај	2500–5500 W
Електрични бицикл (e-bike)	200–500 W
Електрични аутомобил	100–350 kW
Путнички авион	20–75 MW
Свемирска ракета	2,5–23 GW

Табела 1. У табели су дати интервали снаге неких електричних уређаја и машина.



РЕШЕНИ ПРИМЕР 1.

Ученица масе 40 kg пење се уз степенице на висину од 2 m за време од 5 s. Колика је њена снага? Користи вредност Земљиног убрзања: $g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

Дато:	Да би се ученица попела уз степенице, потребно је да изврши рад једнак повећању њене гравитационе потенцијалне енергије:
$m = 40\text{ kg}$	
$h = 2\text{ m}$	
$t = 5\text{ s}$	
$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$	Њена снага је:
Тражи се:	
$P = ?$	

КОЕФИЦИЈЕНТ КОРИСНОГ ДЕЈСТВА

У стварном свету ниједна машина или уређај не претвара сву уложену енергију у користан рад. Део енергије увек се губи (најчешће у виду топлоте и стварања звука). Што су ти губици енергије мањи, кажемо да је машина или уређај ефикаснији.

При померању тела гурањем константном силом, користан рад је рад силе која гура тело и повећава његову кинетичку енергију, али поред тог рада потребно је савладати и рад силе трења. Да бисмо измерили колико је нека машина или уређај ефикасан у коришћењу уложене енергије, односно да бисмо показали колики део укупног извршеног рада отпада на користан рад, у физици је уведена физичка величина степен корисног дејства или ефикасност. Степен корисног дејства је количник корисног рада (A_k) и укупног уложеног рада (A_{vk}). Степен корисног дејства је бездимензиона величина и обично се означава η (чита се „ета“):

$$\eta = \frac{A_k}{A_{vk}}.$$

Тај коефицијент може се изразити и у процентима:

$$\eta = \frac{A_k}{A_{vk}} \cdot 100\%.$$

Степен корисног дејства може се израчунати и као количник **корисне енергије и уложене енергије**, изражен у процентима.

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

Ако нека машина или уређај има степен корисног дејства од 80 %, то значи да се 80 % енергије коју је машина искористила претворило у оно што нам је потребно, док се 20 % изгубило у виду топлоте, звука или вибрација. На пример, ако је ефикасност сијалице са ужареним влакном 10 %, то значи да од укупне утрошене електричне енергије сијалица 10 % претвара у светлосну енергију, док се чак 90 % губи у облику топлоте. Код електричних уређаја, већи степен корисног дејства значи мању потрошњу електричне енергије, а код мотора већи степен корисног дејства значи добијање веће вучне силе уз мању потрошњу горива.

Уређај / Машина / Мотор	Степен корисног дејства
Електрични мотор (наизменична струја)	85–95 %
Електрични мотор (једносмерна струја)	75–90 %
Сијалица са ужареним влакном	5–10 %
Халогена сијалица	10–20 %
ЛЕД сијалица	40–60 %
Електрични грејач	99 %
Бензински мотор	20–30 %
Дизел-мотор	30–40 %
Електрични бицикл	60–80 %
Електрични аутомобил	70–90 %

Табела 2. У табели су дати интервали степена корисног дејства за неке уређаје.



РЕШЕНИ ПРИМЕР 2.

Сијалица троши 60 J енергије за 1 секунду. Од тога се само 12 J претвара у светлост, а остатак у топлоту.

- а) Колики је степен корисног дејства сијалице?
б) Колико се енергије у сијалици претвара у топлоту?

Дато:	а. Степен корисног дејства сијалице је:
$E_{\text{св}} = 12 \text{ J}$ $E_{\text{топ}} = 60 \text{ J} - 12 \text{ J} = 48 \text{ J}$ $E_{\text{укуп}} = 60 \text{ J}$	$\eta = \frac{E_{\text{св}}}{E_{\text{укуп}}} = \frac{12 \text{ J}}{60 \text{ J}} = 0,2$
Тражи се:	б. Енергија која се претвара у топлоту једнака је разлици између укупне енергије коју сијалица троши и светлосне енергије:
$\eta - ?$ $Q - ?$	$Q = E_{\text{укуп}} - E_{\text{св}} = 60 \text{ J} - 12 \text{ J} = 48 \text{ J}$



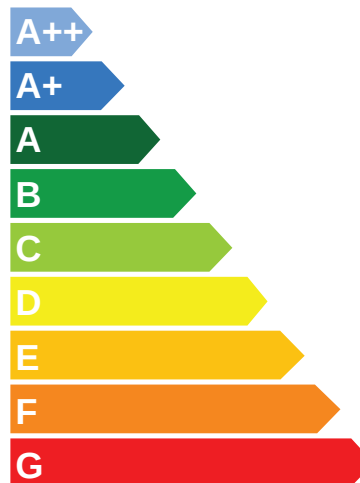
АКТИВНОСТИ

1. Израчунавање своје снаге

Попни се школским степеницама до првог спрата. Штоперицом измери време потребно да извршиш овај рад. Метром измери висинску разлику између два спрата, а на ваги измери своју масу. Израчунај рад који си извршио пењући се на први спрат, а затим и своју снагу. Покушај да се следећи пут, без трчања, попнеш на први спрат крећући се већом брзином. Поново измери време за ову активност и израчунај своју снагу у том случају. Шта можеш да закључиш? У ком случају ти је било потребно више времена? Да ли је рад који си извршио у оба случаја једнак? Да ли је твоја снага била једнака у оба случаја?

2. Степен корисног дејства код електричних уређаја

Код електричних уређаја већа ефикасност (или већи степен корисног дејства) значи мању потрошњу електричне енергије; код сијалица већа ефикасност значи да ће сијалица зрачити више светлости, а при томе трошити мање електричне енергије. Зато сви електрични уређаји имају ознаке као што су А, А+, А++, В, С итд. Ове ознаке представљају степен корисног дејства уређаја. На Слици 1 дата је шема ових ознака, односно класа потрошача. Истражи колики степен корисног дејства представља свака од ознака, односно класа. Изабери један електрични уређај из свог дома, па истражи колико енергије троши за један сат када је укључен. Треба да откријеш која је његова ознака степена корисног дејства и колики део укупне енергије коју уређај троши претвара у корисну енергију.

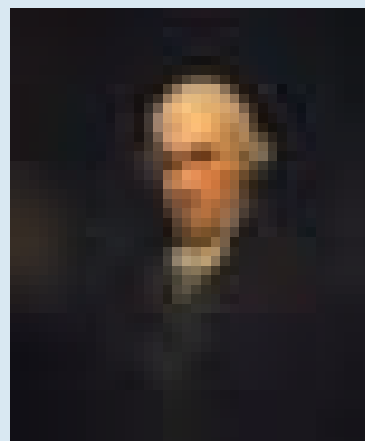


Слика 1. Шема ознака за различите класе потрошача.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Џејмс Ват (James Watt, 1736–1819)

Ват је био шкотски проналазач и инжењер који је оставио огроман утицај на развој технике и индустрије. Рођен је у Гриноку, у Шкотској, а још као дете показивао је велико интересовање за рад различитих механизма: рано је научио да расклапа и поправља часовнике, механичке играчке и мали алат. Ват је радио као произвођач научних инструмената на Универзитету у Глазгову. Тамо је први пут дошао у додир са парним машинама, које су у то време биле веома неефикасне и трошиле огромну количину енергије, а обављале мали користан рад. Највећи Ватов допринос науци и техници био је унапређење (повећање степена корисног дејства) парне машине, увођење појма снага у науку и индустрију, као и постављање темеља савременом разумевању енергије, рада



и технолошких уређаја. Он је редизајнирао парну машину тако што је повећао њен степен корисног дејства. Захваљујући његовим унапређењима, парна машина постала је прави мотор који је покренуо Индустријску револуцију: фабрике, руднике, бродове и железницу. У његову част, јединица за снагу названа је ват (W).

ЗА 5+

Користећи основну формулу за израчунавање снаге:

$$P = \frac{A}{t},$$

можемо извести и другу формулу за њено израчунавање ако искористимо формулу за израчунавање механичког рада: Ако ову формулу за рад уврстимо у израз за снагу, добијамо:

$$P = \frac{F \cdot s}{t}.$$

Имајући у виду да количник помераја и времена за које је тај померај извршен представља брзину којом се тело кретало, односно:

$$v = \frac{s}{t},$$

заменом у изразу добијамо:

$$P = F \cdot v.$$

Ово је веома важна формула, јер нам показује да снага зависи од две величине: силе која делује на тело и брзине којом се тело креће под дејством те силе. На пример, мотори код аутомобила и камиона, при истој снази, развијају већу вучну силу ако им је брзина кретања мања. Зато возачи приликом савладавања успона смањују брзину возила како би добили већу вучну силу мотора.

2. Степен корисног дејства не мора се израчунавати само преко рада или енергије. У случајевима када радимо са машинама које непрекидно раде, као што су мотори, пумпе, електрични уређаји или транспортни системи, много је једноставније израчунати га преко снаге. У том случају степен корисног дејства израчунава се према формули:

$$\eta = \frac{P_k}{P_{vk}} \cdot 100\%.$$

где је: P_k снага коју машина предаје као користан рад, P_{vk} укупна снага коју машина прима од извора енергије (електричне, хемијске или механичке). До ове једначине може се доћи и ако се бројилац и именилац у формули за степен корисног дејства, задатој преко извршеног рада, подели временом, знајући да однос рада и времена даје снагу.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Џејмс Ват је снагу изражавао у јединицама коњска снага (HP). Једна коњска снага једнака је 745,7 W. И данас се снага аутомобилских мотора понекад изражава у овој јединици.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Објасни својим речима шта је снага. Да ли две машине које врше исти рад могу имати различиту снагу? Зашто?
 2. Зашто ниједна машина или уређај нема степен корисног дејства 100 %?
 3. Трљај дланове један о други неколико секунди. Колики користан рад си извршио? Колики је степен корисног дејства ове активности?
 4. Један ученик подиже ранац масе 5 kg на висину од 2 m за 4 s. Колика је његова снага?
 5. Мотор троши 5000 J електричне енергије за 10 s. Његов степен корисног дејства износи 40 %.
- а) Колико корисне енергије даје мотор?
 б) Колика је његова снага?
 в) Колико се енергије губи у облику топлоте?



ЗАПАМТИ

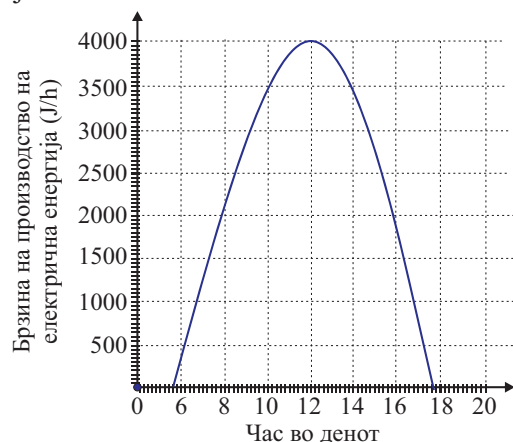
- Снага је количник извршеног рада и времена за које се тај рад изврши.
- Основна јединица за снагу у SI систему је ват (W).
- Степен корисног дејства израчунава се као количник корисног рада и укупног извршеног рада.
- Ниједна машина не претвара сву уложену енергију у користан рад. Део енергије увек се губи (услед трења, у виду топлоте и звука).

ТЕМА 1.

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂУВАЊЕ

1. Шта представља извор енергије? Наведи три извора енергије.
2. Зашто се фосилна горива сматрају необновљивим изворима енергије?
3. Ефекат стаклене баште доводи до:
 - а) Смањења температуре
 - б) Глобалног загревања
 - в) Повећања масе Земље
 - г) Споријег кретања ваздуха.
4. Зашто се кинетичка енергија тела које пада ка површини Земље непрестано повећава?
5. Опиши како се мења потенцијална енергија при паду тела са одређене висине.
6. Како се израчунава еластична потенцијална енергија?
7. Објасни када сила која делује на тело не врши механички рад.
8. Која је разлика између корисне и уложене енергије?
9. Срце користи хемијску енергију да пумпа крв. Током 30 min срце изврши механички рад од 3 kJ. Ако је у истом периоду тело утрошило 30 kJ хемијске енергије:
 - а) Колики проценат енергије одлази на рад срца?
 - б) Колико се енергије претворило у топлоту?
 - в) Објасни зашто су топлотни губици важни за одржавање телесне температуре.
10. 10. Соларни панел прими 1000 J од Сунца за 1 min. У истом времену произведе 220 J електричне енергије, при чему се 150 J апсорбује као топлота у панелу, а остатак се рефлектује.
 - а) Израчунај колико се енергије рефлектује од панела.
 - б) Колики је процентуални удео рефлектоване енергије?
11. Дат је график који приказује брзину којом се производи електрична енергија једног малог соларног панела током дана, у јединицама џули на час (J/h).
 - а) Одреди у ком периоду дана панел производи највише енергије.
 - б) У ком периоду дана панел не производи електричну енергију.
 - в) У колико сати панел производи електричну енергију од 1000 J/h.
 - г) Објасни зашто је производња енергије мала ујутру и увече.
12. Аутомобил масе 900 kg креће се брзином од 40 km/h, а затим брзином од 80 km/h.
 - а) Израчунај кинетичку енергију аутомобила у оба случаја.
 - б) Колико је пута већа кинетичка енергија када се аутомобил креће брзином од 80 km/h у поређењу са кретањем брзином од 40 km/h?



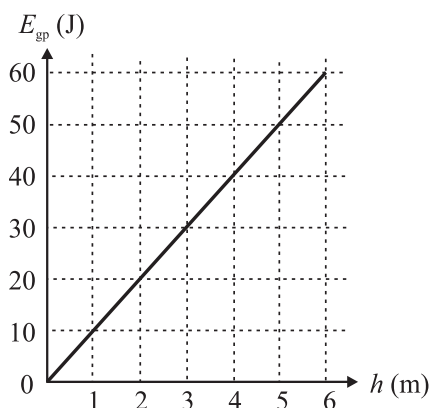
У свим наредним задацима, ако није другачије наведено, користи вредност Земљиног убрзања:

$$g = 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

13. Скијаш масе 70 kg спушта се низ падину планине и достиже брзину од 12 m/s. Крећући се по равној површини, његова брзина се смањила на 8 m/s. Израчунај промену кинетичке енергије скијаша.

14. На графику је приказана зависност гравитационе потенцијалне енергије тела непознате масе, подигнутог на различите висине у односу на референтну раван. Одреди нагиб праве и помоћу добијене вредности израчунај масу тела. Вредност Земљиног убрзања у овом задатку узети да је:

$$g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$



15. За тело непознате масе измерена је гравитациона потенцијална енергија (E_p) када се тело налази на различитим висинама (h) у односу на референтну раван. Резултати мерења дати су у табели десно..

а) Нацртај график зависности гравитационе потенцијалне енергије од висине на којој се тело налази.

б) Прочитај са графика колика је гравитациона потенцијална енергија тела када се налази на висини од 1,2 m изнад референтне равни.

в) Израчунај нагиб графика и, помоћу те вредности, одреди масу тела. Вредност Земљиног убрзања

у овом задатку узети да је: $g = 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$.

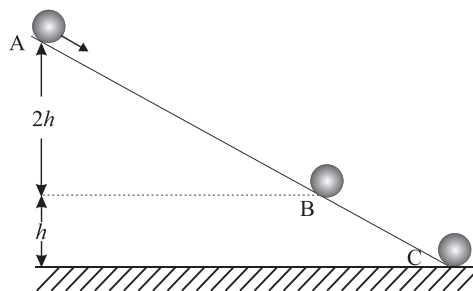
h (m)	E_{gp} (J)
0	0
0,5	10
1,0	20
1,5	30
2,0	40

16. Две опруге имају константе еластичности 50 N/m и 100 N/m. Обе се издужују за исто растојање од 0,08 m.

а) Израчунај еластичну потенцијалну енергију за сваку опругу.

б) Колико је пута већа еластична потенцијална енергија опруге са већом константом еластичности?

17. Тело је пуштено да се котрља низ косу раван. У тачки А његова кинетичка енергија износи 20 J, док у тачки В износи 60 J. Израчунај кинетичку енергију тела у тачки С, на крају косе равни. Колика је била потенцијална енергија тела у тачки А? Занемарити трење са подлогом и отпор ваздуха.



18. Вентилатор изврши рад од 4500 J за 1 минут.

а) Израчунај снагу вентилатора.

б) Колики ће рад вентилатор извршити за 10 минута, ако снага остане иста?

19. Ученик масе 45 kg пење се уз степенице и за 6 s савлада висину од 2,4 m.

а) Израчунај извршени рад.

б) Израчунај снагу ученика.

в) Ако његово тело ствара 20 % више енергије од извршеног рада (због губитака), колика је укупна утрошена енергија?

20. Човек подиже тег масе 20 kg на висину од 0,7 m за време од 0,8 s.

а) Израчунај рад.

б) Израчунај снагу при подизању.

в) Ако су мишићи искористили само 25 % хемијске енергије, колико је енергије тело утрошило?

Тема 2:

УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА И ТОПЛОТА

Иако тела око нас мирују, у њима постоји непрекидно кретање. Свака градивна честица тела или супстанце вибрира, креће се и размењује енергију са осталим честицама. Због кретања градивних јединица и њихових међусобних дејстава кажемо да тела и супстанце имају унутрашњу енергију. Проучавајући ову тему открићеш да су управо честична грађа и унутрашња енергија кључ за разумевање агрегатних стања: чврстог, течног и гасовитог, као и њихових својстава. У овој теми научићеш како се мери температура и зашто је основна јединица за температуру у SI систему келвин, а не $^{\circ}\text{C}$.

Научићеш да повезујеш промене притиска, запремине и температуре са понашањем честица: зашто се гасови шире, зашто течности теку и зашто чврста тела задржавају свој облик. Разумећеш да топлота није супстанца која тече, већ енергија која се преноси са једног тела на друго. Упознаћеш три начина преноса топлоте: кондукцију, конвекцију и радијацију, и научићеш како топлота са Сунца стиже до Земље иако се између њих највећим делом простира безваздушни простор.

Резултати учења

Ученик/ученица ће бити способан/способна:

- да објасни агрегатна стања и својства супстанци на основу њихове честичне грађе;
- да повезује промене притиска, запремине и температуре код чврстих тела, течности и гасова са њиховом честичном грађом;
- да повезује појмове унутрашња енергија и топлота;
- да објасни начине преноса топлоте.

2.1. ГРАЂА СУПСТАНЦЕ

ПОЈМОВИ

градивне
честицеБрауново
кретање

атом

хемијски елемент

електрон

честични модел

молекул

једињење

атомско
језгроелектронски
омотач

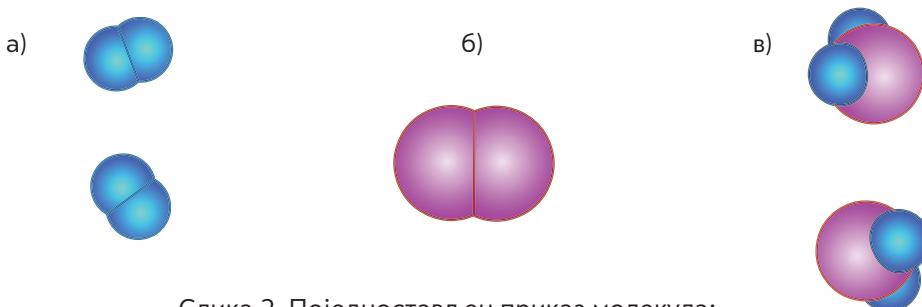
Сваки предмет око нас, вода коју пијемо, ваздух који дишемо, камен и дрво, састављен је од веома ситних честица. Још пре више од две хиљаде година старогрчки филозоф Демокрит размишљао је шта би се догодило када бисмо узели неки предмет и почели да га делимо на све мање и мање делове. Претпоставио је да мора постојати најмања градивна честица, толико мала да се више не може поделити. Ову честицу назвао је атом, што на старогрчком значи „недељив“.

Иако је то тада била само филозофска мисао, без икакве научне потврде, много касније, у 19. веку, енглески научник Џон Далтон оживео је идеју о атому и створио честични модел грађе супстанце, односно поставио темеље научне теорије која се данас назива честична теорија или атомска теорија. Према овој теорији, хемијски елементи изграђени су само од једне врсте честица, које се називају атоми. Данас знамо да и атоми имају своју структуру – атомско језгро и електроне који круже око језгра. Простор у коме се могу наћи електрони назива се електронски омотач атома. Атоми једног хемијског елемента међусобно су идентични, али се атоми различитих елемената међусобно разликују.



Слика 1. Поједностављен приказ атома – језгро око којег се налазе електрони.

Два или више атома могу да се повезују у молекуле, који су најситније градивне јединице једне супстанце и носиоци су физичких и хемијских својстава једињења. Као и атоми, молекули различитих једињења се разликују, али су молекули истог једињења међусобно идентични. Молекули су састављени од два или више истих или различитих атома. Примери молекула изграђених од атома исте врсте су молекули водоника (H_2) и молекули кисеоника (O_2).



Слика 2. Поједностављен приказ молекула: а) водоника, б) кисеоника, в) воде.

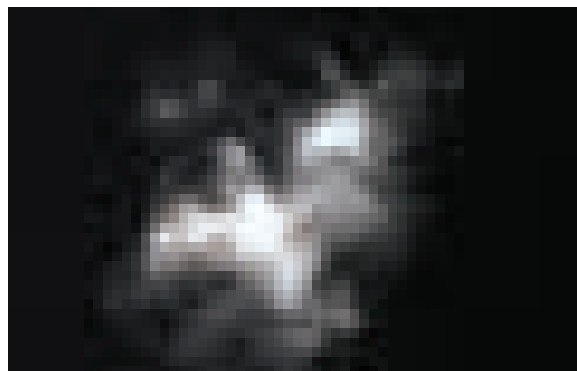
Ови молекули изграђени су од два атома водоника, односно од два атома кисеоника. Примери молекула састављених од различитих атома су молекула воде (H_2O) и молекула угљен-диоксида (CO_2). Вода је изграђена од два атома водоника и једног атома кисеоника, док је угљен-диоксид изграђен од једног атома угљеника и два атома кисеоника. У природи се могу наћи и молекули састављени од хиљада атома, као што су протеини или молекули полимера (пластике).

Атоми и молекули су толико мали да се не могу видети ни најмоћнијим оптичким микроскопима. Величина различитих атома је различита, али можемо сматрати да она износи приближно 0,1 нанометар ($0,1 \cdot 10^{-9} \text{ m}$), што значи да би се у једном милиметру могло поређати једно до другог приближно 10 милиона атома. Молекули, који су састављени од два или више атома, нешто су већи, али и даље остају у распону од неколико нанометара. Маса атома је такође веома мала. На пример, један атом водоника има масу приближно $1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, а мали молекул, као што је вода, има масу која је приближно 18 пута већа од те вредности.

Атоми и молекули не мирују. Они су у непрекидном кретању. На пример, ако у просторији оставимо отворену бочицу парфема, после извесног времена мирис ће се осетити у свим деловима просторије. Ако у чашу воде додамо мало боје, после извесног времена цела течност ће се обојити. Код гасова честице се непрекидно сударају једна са другом, мењају правац, смер и величину брзине којом се крећу, па се зато њихово кретање назива хаотично кретање. Код чврстих тела честице се не крећу транслационо, већ само осцилују око својих равнотежних положаја, док код течности градивне честице осцилују око равнотежних положаја, али могу и транслационо да се крећу.

Брауново кретање: доказ кретања честица

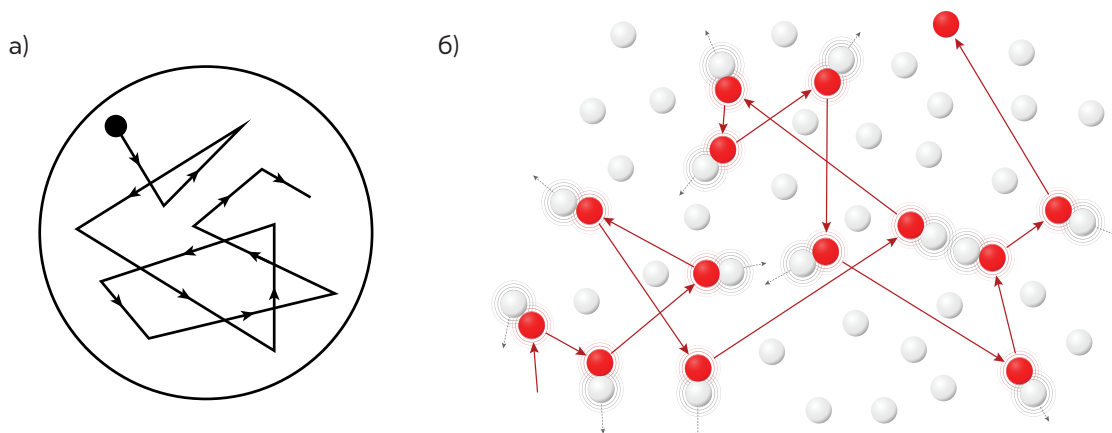
Дим је састављен од милиона ситних чврстих честица и ситних капљица течности. Ако погледате дим под микроскопом, као што је приказано на Слици 3, приметитећете честице дима које рефлектују светлост. Њихово кретање у ваздушној средини личи на изломљену линију. Честица дима је довољно велика да може да се уочи, али има веома малу масу. Због мале масе, она лако може да мења правац и смер кретања приликом судара са околним честицама (молекулима гаса).



Слика 3. Честице дима посматране под микроскопом.

Овакво кретање познато је као Брауново кретање, названо у част научника Роберта Брауна, који га је 1827. године први уочио, посматрајући кретање полена постављеног на кап воде. Кретање полена по површини воде које је Браун посматрао последица је непрекидних судара молекула воде са поленом. Када се градивне честице гаса или

течности сударају са ситним телима (нпр. поленом на површини воде или честицом прашине у ваздуху), оне мењају правац и смер њиховог кретања. Теорија која проучава кретање градивних честица назива се молекуларно-кинетичка теорија, и она даје објашњење Брауновог кретања..



Слика 4. а) Графички приказ кретања честице полена у Брауновом експерименту, б) Поједностављен приказ хаотичног кретања једне посматране честице као последице међудејства са другим честицама средине.



АКТИВНОСТИ

1. Кретање честица у ваздуху

У једном углу учионице напрскај парфем или дезодоранс. После извесног времена приметиће се да мирис није остао само на том месту, већ се проширио по целој просторији. То показује да се честице дезодоранса крећу хаотично и распоређују по читавој учионици. Активност се може извести и помоћу мирисних штапића. Шта можеш да закључиш о кретању честица парфема?

2. Кретање честица у течности

У чашу са водом додај једну кап прехранбене боје. После извесног времена приметићеш да се вода у чаши постепено обојава. На крају је сва вода у чаши равномерно обојена. Шта се догодило са честицама боје? Да ли се крећу само честице боје или и честице воде?



Градивне честице гасова крећу се веома великом брзином, и то до неколико стотина метара у секунди. Истражи како су научници успели да измере брзину градивних честица гасова и да ли се све честице крећу истом брзином.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Просечна брзина молекула ваздуха већа је од 600 m/s



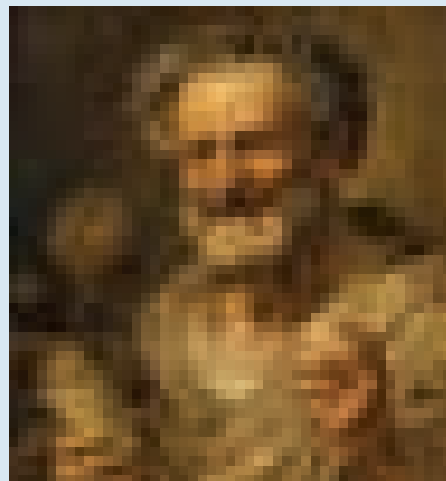
ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Демокрит (око 470 – око 380. пре н. е.)

Демокрит је био старогрчки филозоф из града Абдере, познат као један од највећих мислилаца свога времена. Он је први развио целовиту теорију о атомизму, идеју која је, иако потиче из античког света, данас позната као основа савремене атомске физике. Према Демокриту, цео свет изграђен је од два елемента: атома и празног простора.

Иако није имао научне инструменте да докаже своју претпоставку, Демокрит је сматрао да су атоми вечни, не уништиви и увек у кретању. Они се разликују по облику и величини, а њиховим спајањем настају све супстанце око нас. Према њему, неправилни атоми са оштрим ивицама граде грубе и чврсте материјале, док се глатки и заобљени повезују у меке и лаке супстанце.

Демокрит је такође веровао да су атоми у непрекидном кретању кроз бесконачан простор. Када се сударе, они се спајају и настају нове супстанце. На тај начин објашњавао је променљивост природе, настајање и претварање супстанци из једног облика у други. Његова идеја да „ништа не настаје ни из чега и ништа не нестаје“ задивљујуће је слична савременом Закону о одржању енергије и масе.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИИ

1. Шта је атом и зашто се каже да је основна градивна јединица хемијског елемента?
2. Шта је молекул и по чему се разликује од атома?
3. Наведи пример молекула састављеног од истих атома и пример молекула састављеног од различитих атома. Подсети се онога што си учио на часовима хемије.
4. Шта је Брауново кретање?
5. Да ли честице икада мирују?



ЗАПАМТИ

- Супстанце су изграђене од веома ситних честица.
- Честице су у непрекидном кретању.
- Атом је најмања честица хемијског елемента.
- Молекул је најмања честица једињења и носилац је његових физичких и хемијских својстава.
- Молекули су састављени од два или више истоверних или различитих атома.

2.2. МЕЋУЧЕСТИЧНИ ПРОСТОР И МЕЋУЧЕСТИЧНЕ СИЛЕ

ПОЗМОВИ

међучестични простор

међучестичне силе

дифузија

међумолекулски простор

међумолекулске силе

Свака супстанца и свако физичко тело, без обзира на то да ли се налази у чврстом, течном или гасовитом агрегатном стању, изграђено је од огромног броја градивних честица, атома, јона или молекула који међусобно делују и између којих постоји празан простор. Празан простор између честица назива се међучестични простор. Овај простор има важну улогу у већини својстава супстанци.



АКТИВНОСТ

1. Симулација међучестичног простора

У већу чашу стави неколико лоптица са стони тенис. Оне симболизују распоред честица једне супстанце – супстанце А. Затим у исту чашу додај зрна пасуља, која ће симболизовати честице супстанце Б. На крају у чашу сипај песак, који ће симболизовати честице треће супстанце – супстанце В. Шта запажаш? Да ли су зрна пасуља продрла у простор између лоптица? Да ли су честице песка испуниле празне просторе између зрна пасуља?

Из ове активности можеш закључити да градивне честице једне супстанце продиру између честица друге супстанце, попуњавајући празне просторе. Овај модел показује да и код супстанци постоје празни међучестични простори који се могу попунити при мешању двеју или више различитих супстанци.

Слична појава може се посматрати када се сунђер натопи водом. Вода продиру у празнине између влакана сунђера.

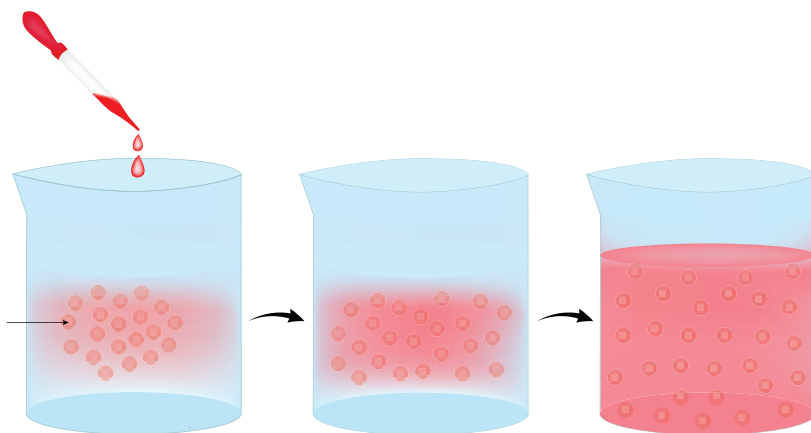


АКТИВНОСТ

2. Мешање воде и алкохола

У мензурку сипај 20 mL воде. Затим додај још 20 mL алкохола. Колика је укупна запремина смеше? Затвори мензурку и промућкај је тако да се течности у њој добро измешају. Поново измери запремину смеше. Да ли је ова запремина већа, мања или једнака почетној запремини? Шта можеш да закључиш?

После мешања двеју течности запажа се да је укупна запремина мања од 40 mL. То се дешава зато што молекули воде продиру између молекула алкохола, попуњавајући празне међучестичне просторе. Пошто су основне градивне честице воде и алкохола молекули, простор између молекула називамо и међумолекулски простор. Запремина смеше смањила би се и без промућкавања мензуре, али би тај процес трајао дуже. Спонтано мешање честица двеју или више супстанци назива се дифузија. Дифузија је најбржа код гасова, а код чврстих тела одвија се најспорије.



Слика 1. Дифузија молекула боје у води.

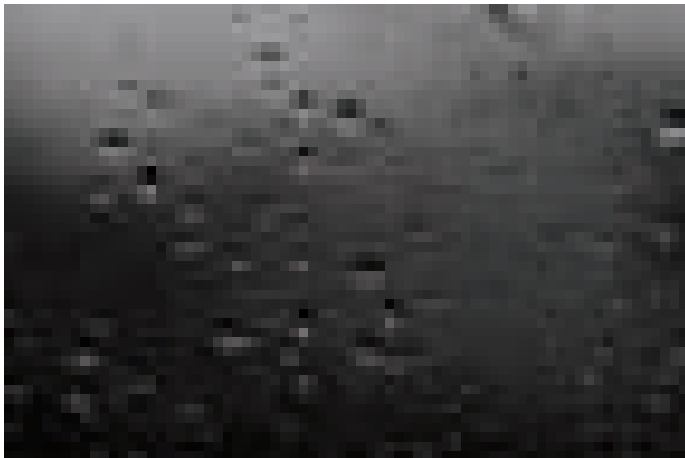
Нека физичка својства тела могу се објаснити честичном теоријом. На пример, физичко тело је целина састављена од великог броја честица које међусобно делују. Ова међусобна дејства називају се међучестичне силе. Тело има масу, јер свака честица има одређену масу, и има запремину, јер честице заузимају одређени простор, а између њих постоји и међу-

честични простор. Физичка својства, као што су облик, чврстоћа, еластичност или способност течења, зависе управо од величине међучестичног простора и величине, односно интензитета међучестичних сила.

Густина једне супстанце је количник њене масе и запремине коју та маса заузима. Супстанце код којих су честице веома близу једна другој, односно имају мали међучестични простор, имају велику густину. На пример, метали имају велику густину јер су честице у њима распоређене у правилне структуре. Са друге стране, градивне честице код гасова веома су удаљене једна од друге, што доводи до веома мале густине.

Иако су честице у непрекидном кретању, тела се не распадају на појединачне честице. Разлог за то је постојање међучестичних сила. Ако је супстанца изграђена од молекула, силе које делују између њих називамо међумолекулске силе. Оне могу бити привлачне или одбојне и захваљујући њима чврста тела задржавају свој облик, течности могу да теку, а гасови могу да се компримују (сабијају). Међумолекулске силе нису исто што и хемијске везе између атома у молекулима; оне су много слабије, али су довољно интензивне да одреде агрегатно стање супстанце. Код чврстих тела оне су веома јаке, па честице могу само да осцилују око својих равнотежних положаја. Код течности силе су мање интензивне него код чврстих тела, па честице могу да се крећу једна поред друге, што омогућава њихово течење. Код гасова међумолекулске силе су готово занемарљиве, па се честице слободно крећу кроз простор. Другим речима, разлике у величини међумолекулских сила и величини међумолекулског простора објашњавају зашто је лед чврст, вода тече, а водена пара се шири кроз ваздух.

Међумолекулске силе делују на веома малим растојањима, мањим од $0,000001\text{ cm}$. На пример, ако поломимо комад креде и покушамо да његове делове поново саставимо, то нам неће успети. Молекуле не можемо да доведемо на тако мало растојање да би привлачне међумолекулске силе почеле да делују. Код мекших материјала могуће је постићи такво приближавање молекула, односно њихово слепљивање. На површину гвоздене цеви боја се лако наноси четком. При томе се честице боје приближавају растојањима на којима делују привлачне међумолекулске силе.

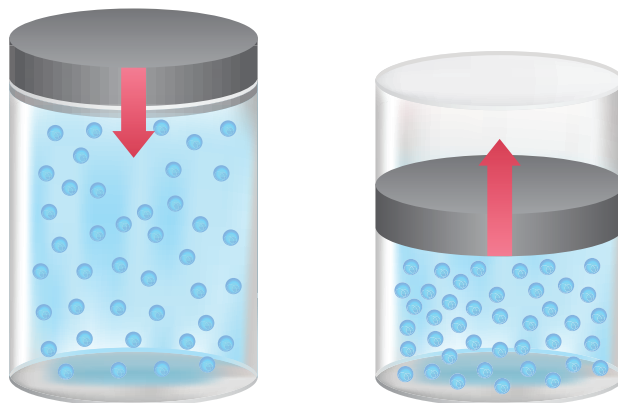


Слика 2. Међумолекулске силе. Под дејством кохезионих међумолекулских сила настају капи воде. Под дејством адхезионих међумолекулских сила капи воде могу да се прилепе за површину стакла.

Привлачне међумолекулске силе могу бити кохезионе и адхезионе силе. Кохезионе силе су међумолекулске силе које држе на окупу молекуле исте супстанце. Захваљујући кохезионим силама, течности формирају капи, а чврста тела задржавају свој облик. Адхезионе силе су привлачне силе између молекула различитих супстанци. Оне објашњавају зашто се вода „лепи“ за стакло или зашто се мастило упија у папир (Слика 2).

Међумолекулске силе нису само привлачне – оне могу бити и одбојне када су молекули сувише близу један другом. Због одбојних сила чврста тела не могу лако да се згњече, нити можемо много да смањимо запремину ваздуха затвореног у посуди са клипом (Слика 3).

Слика 3. Сабијањем ваздуха у посуди смањује се међумолекулски простор између молекула ваздуха и јављају се међумолекулске одбојне силе које се супротстављају даљем сабијању ваздуха. Ако се на клип не делује силом вертикално наниже, он ће се подићи навише под дејством одбојних међумолекулских сила.



АКТИВНОСТ

3. Проучавање дифузије гасова помоћу интерактивне интернет-странице

Отвори симулацију „Дифузија“ (Diffusion) на интернет-страници: https://phet.colorado.edu/sims/html/diffusion/latest/diffusion_all.html и у обе затворене посуде постави одређен број честица једне и друге супстанце. У симулацији можеш да мењаш величину честица, њихову масу, као и температуру супстанце. Уклони преграду која раздваја две посуде и објасни шта се дешава. Какво је кретање честица? Запиши како се распоред честица у обе посуде мења током времена. Промени температуру супстанце. Да ли се дифузија одвија брже у односу на случај када је температура била нижа? Какве силе делују између честица када се оне међусобно сударе?



ЗАНИМЉИВОСТИ

Природни мириси цвећа шире се захваљујући дифузији и slabим међумолекулским силама.

ЗА 5+

Када се молекули приближавају или удаљавају један од другог, мења се њихова потенцијална енергија. Истражи како се потенцијална енергија између два молекула мења у зависности од њиховог међусобног растојања и како то утиче на то да ли ће међумолекулска сила бити привлачна или одбојна.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Роберт Браун (Robert Brown, 1773–1858)

Шкотски ботаничар Роберт Браун је, проучавајући честице полена под микроскопом, 1827. године уочио нешто необично: честице полена у води кретале су се хаотично, неправилно и непрекидно, без икакве видљиве силе која би их покретала. Пажљиво је понављао своја посматрања са различитим материјалима, честицама прашине и ситним честицама пигмената, и уочио да је такво кретање увек присутно, без обзира на врсту честица. Данас то случајно и непрекидно кретање називамо Брауново кретање.

Иако Браун није могао да објасни ову појаву, његово откриће било је изузетно важно. Заправо, то је био први јасан експериментални доказ да су материјали састављени од огромног броја невидљивих честица које су у непрекидном кретању. Касније су Алберт Ајнштајн и Жан Батист Перен теоријски описали ово кретање и математички показали да је хаотично кретање честица последица судара са молекулима течности, чиме је коначно потврђено да је супстанца изграђена од честица



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта је дифузија?
2. Наведи један пример из свакодневног живота у коме се уочава дифузија.
3. Зашто је дифузија важна за жива бића?
4. У две чаше од по 200 ml сипамо воду и уље. Маса уља је мања. Шта можеш рећи о густини и о честиčnoј структури ове две супстанце?
5. Зашто се пластична флаша напуњена ваздухом може стиснути, а пластична флаша напуњена водом готово уопште не може?



ЗАПАМТИ

- Између честица сваке супстанце постоји међучестични простор и делују међучестичне силе.
- Дифузија је доказ да се честице крећу и да између њих постоји празан простор.
- Густина супстанце зависи од величине међучестичног простора..
- Међумолекулске силе одређују агрегатно стање и физичка својства супстанце.

2.3. АГРЕГАТНО СТАЊЕ СУПСТАНЦЕ

ПОЈМОВИ

агрегатно
стање

чврсто тело

течност

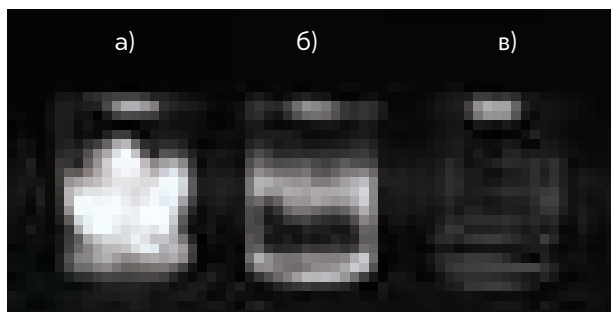
гас

кристално тело

аморфно тело

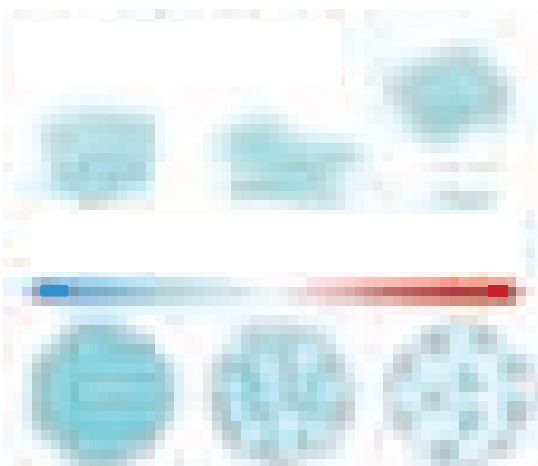
Агрегатно стање супстанце је облик у коме супстанца постоји при одређеној температури и притиску. Од агрегатног стања зависи и начин на који су честице (атоми, молекули или јони) распоређене у супстанци и како се крећу. Постоје три агрегатна стања у којима се супстанце могу наћи: **чврсто, течно и гасовито**. У различитим агрегатним стањима честице имају различита међучестична растојања, делују различите међучестичне силе и слобода кретања честица је различита. Због тога се облик, запремина и физичка својства супстанце разликују у различитим агрегатним стањима.

Вода је, када је замрзнута, у чврстом агрегатном стању. На собној температури она је у течном агрегатном стању, а када испари, прелази у гасовито агрегатно стање. Вода у чврстом агрегатном стању има сталне облик и запремину и не може лако да се деформише нити да тече. У течном агрегатном стању, вода тече и нема сталан облик, већ поприма облик посуде у којој се налази. Када је вода у гасовитом агрегатном стању, односно у облику водене паре, она нема сталну запремину и испуњава цео расположиви простор.



Слика 1. Вода у а) чврстом, б) течном и в) гасовитом агрегатном стању (лед, течна вода, водена пара). Топљењем леда вода прелази у течно агрегатно стање. Део молекула из течности, који се налазе близу површине, прелази у околни ваздух испаравањем.

Иако иста супстанца изгледа веома различито у сваком од три агрегатна стања, део њених физичких својстава може се објаснити на основу њене честичне грађе. Према овој теорији, материја је изграђена од ситних честица (градивних јединица) које се налазе у стању непрекидног кретања. Честице међусобно делују привлачним међучестичним силама када се налазе на малим међусобним растојањима, али се те силе смањују са повећањем међучестичног простора. Ако честице приближимо на веома мала међусобна растојања, тада се јављају одбојне силе.



Слика 2. Распоред молекула воде у чврстом, течном и гасовитом агрегатном стању.

Чврста тела, течности и гасови

Код **чврстих тела** честице су распоређене веома близу једна другој и организване су у правилан просторни распоред. Оне не могу слободно да се крећу, већ само осцилују око својих равнотежних положаја. Међучестични простор је мали, а међумолекулске силе које делују између честица су велике. Због тога се чврста тела тешко деформишу (издужују или сабијају) и задржавају свој облик и запремину непромењеним.

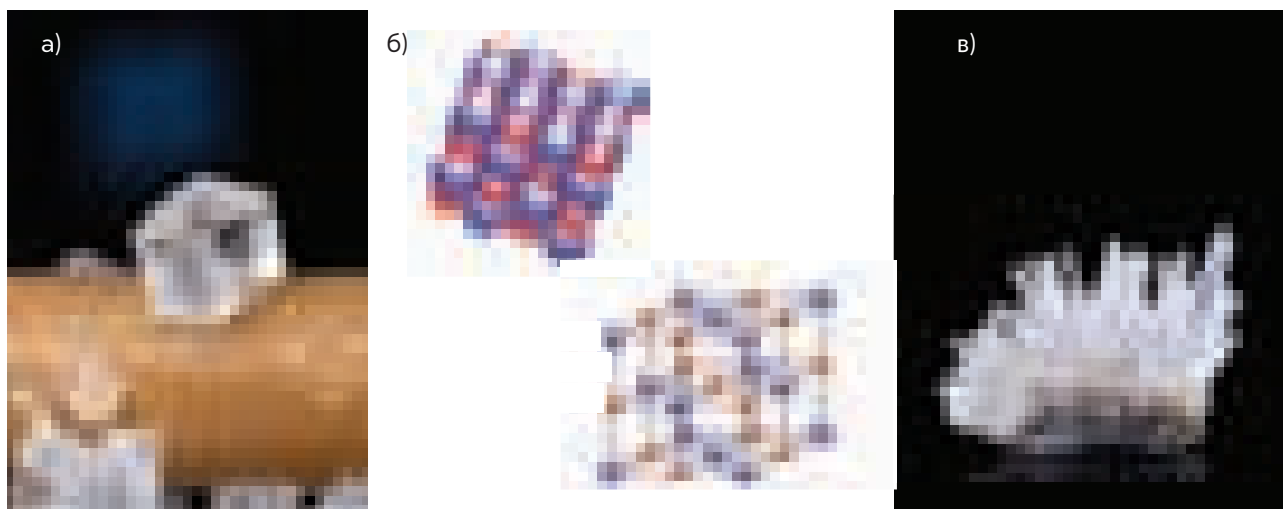
Код **течности** честице (најчешће молекули) такође су близу једна другој, али немају правилан просторни распоред какав имају честице код чврстих тела. Међумолекулски простор је мали, али је ипак већи него код чврстих тела. Међумолекулске силе су довољно јаке да честице остану близу једна другој, али недовољно јаке да их задрже у правилном распореду као код чврстих тела. Зато течности имају сталну запремину, али мењају облик, попримајући облик посуде у којој се налазе. Молекули у течностима могу да се крећу у групама од по неколико молекула и да клизе једни поред других. Сваки молекул или група молекула, крећући се у једном смеру, делује на друге молекуле, преносећи им део енергије, због чега и они почињу да се крећу у истом смеру.

Код **гасова** честице (најчешће молекули) удаљене су на много већим растојањима у поређењу са растојањима између честица код чврстих тела и течности. Међумолекулски простор је много већи у односу на величину самих молекула, а међумолекулске силе су занемарљиво мале. Може се рећи да међумолекулске силе делују само приликом судара, мењајући правац, смер њиховог кретања и брзину којом се молекули крећу. Зато се честице у гасовима слободно крећу у свим смеровима и великом брзином. Гасови немају сталну запремину и испуњавају сав простор (запремину) који им је на располагању. Велики међучестични простор код гасова омогућава њихово компримовање, односно смањивање њихове запремине. Распоред молекула воде у три агрегатна стања приказан је на Слици 2.

Унутрашња структура чврстих супстанци

Во зависност од подредености на честичките, чврстите супстанци може да ги поделиме на две големи групи: кристални и аморфни.

Кај чврсти супстанци коишто имаат **кристална структура**, честичките се распоредени во правилен и периодичен просторен распоред. Оваа правилна структура, наречена **кристална решетка**, се повторува во сите правци на телото или на супстанцата. Затоа, овие супстанци имаат остри рабови, рамни површини и честопати правилни геометриски форми. Ако набљудуваме зрнце од сол, ќе забележиме дека тоа има речиси правилна геометриска форма на квадар. Оваа форма доаѓа од правилниот распоред на градбените единици натриум и хлор во кристалната решетка на солта. Без разлика колку е мало или големо зрнцето сол, јоните на натриумот и на хлорот се распоредени наизменично, како што е прикажано шематски на Слика 3а.

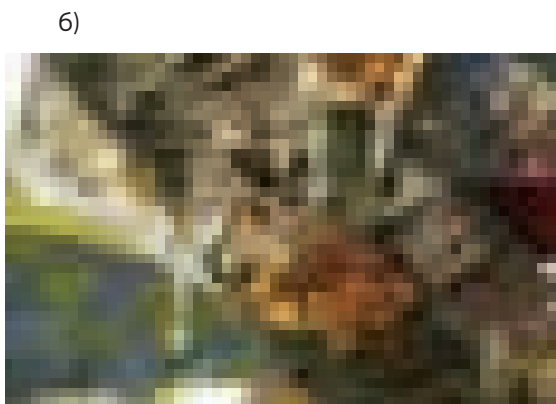
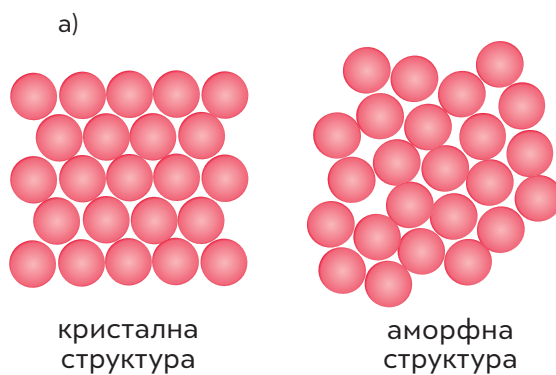


Слика 3. а) Зрнце соли посматрано под микроскопом. б) Правилан распоред јона натријума и хлора у кристалној решетки соли. в) Кристали кварца.

Кристалну структуру имају и сви метали, шећер, кварц и дијамант. Од кристалне структуре супстанце зависе њена физичка својства, као што су тачно одређена температура топљења, тврдоћа, специфични топлотни капацитет, индекс преламања (код провидних супстанци) и друго.

Аморфна тела немају овакав правилан распоред честица. Градивне честице код аморфних тела имају правилан распоред само у мањем делу простора, али не свуда. Такође, не постоји периодичан распоред честица. На Сlici 4а дат је пример распореда честица код кристалног и аморфног тела. Аморфна тела, иако су чврста, истовремено се могу понашати и као чврста тела и као течности. Графит, смола, пластика, восак и асфалт примери су аморфних тела. Она немају тачно одређену температуру топљења; уместо тога, постепено омекшавају при загревању. Ако се комад смоле разбије на ситне делове и остави у посуди, после неколико месеци делови ће се слепити и попримиће облик посуде, што је својство течности.

Аморфна тела могу и веома споро да теку, што је још једно својство слично својствима течности.



Слика 4. а) Поређење распореда честица код тела са кристалном структуром и код тела са аморфном структуром. б) Смола је у чврстом агрегатном стању, али пошто има аморфну структуру, може полако да тече.



АКТИВНОСТ

1. Кристалне и аморфне супстанце

Узми неколико материјала које свакодневно користиш: со или шећер, пластичну кашичицу или креду. Стави их на сто и покушај да од сваког материјала одломиш мањи комад. Потруди се да опишеш њихов облик: да ли имају оштре ивице, равне површине и да ли личе на правилне геометријске облике. Погледај зрнце соли или шећера помоћу лупе или микроскопа и приметићеш оштре границе између равних површина. Упореди ова зрнца са комадом пластике. Да ли и комад пластике има оштре ивице или равне површине? Покушај да формулишеш сопствено правило: како ћеш препознати кристално, а како аморфно тело само на основу изгледа малих делова тог тела?



ЗАНИМЉИВОСТИ

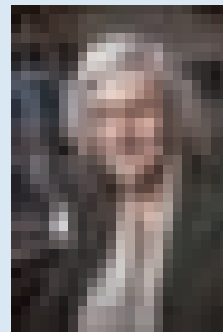
Вода у облацима истовремено може постојати као лед, течне капи и водена пара.



ПОЗНАТА НАУЧНИЧКА

Дороти Кроуфут Хоџкин (Dorothy Crowfoot Hodgkin, 1910–1994)

Дороти Хоџкин била је британска хемичарка која је усавршила технику испитивања кристалне структуре материјала помоћу рендгенских зрака (зрака веома велике енергије) и прва одредила атомске структуре неколико значајних биомолекула. Она је одредила структуру холестерола, пеницилина и, најпознатије, витамина B12. Њен рад подстакао је велики развој хемије и медицине. За своја открића добила је Нобелову награду за хемију 1964. године и сматра се једном од најзначајнијих научница 20. века.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Зашто лед има сталан облик, а вода поприма облик посуде?
2. Како се мења кретање честица када тело прелази из чврстог у течно агрегатно стање?
3. Објасни зашто се гасови компримују много лакше него течности.
4. Наведи пример из свакодневног живота који доказује постојање међучестичног простора код гасова.
5. Зашто је свећа аморфно тело, а со кристално тело?



ЗАПАМТИ

- Агрегатно стање супстанце зависи од распореда, кретања и међусобног дејства честица.
- Агрегатно стање супстанце последица је величине међучестичног простора и јачине међучестичних сила.
- Код чврстих тела честице се налазе на малим међусобним растојањима и осцилују око својих равнотежних положаја.
- Код течности честице осцилују и могу да се крећу једна поред друге.
- Код гасова честице се налазе на великим међусобним растојањима и слободно се крећу у свим правцима и смеровима.
- Према унутрашњој структури, чврста тела деле се на кристална и аморфна.

2.4. ТЕМПЕРАТУРА. ТЕМПЕРАТУРНЕ СКАЛЕ

ПОЈМОВИ

температура (t)
Целзијусова температурна скала

Целзијусови
степени ($^{\circ}\text{C}$)

Келвинова
температурна скала

термометар

келвин (K)

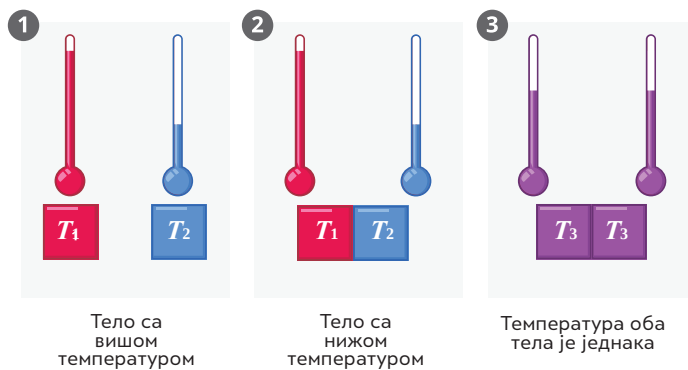
апсолутна
нула (T_0)

апсолутна температура

Свакодневно, без много размишљања, кажемо да је вода топла, да је ваздух напољу хладан или да се тело „загрева“. Али, шта значи да је неко тело више или мање загрејано? Да ли су, ако додирнемо дрвену и металну кашичицу које се налазе на истом столу, обе подједнако загрејане или имамо осећај да је дрвена кашичица топлија од металне? Да бисмо могли објективно да проценимо степен загрејаности неког тела, у физици је уведена физичка величина температура. **Температура** је мера степена загрејаности тела или супстанци. Она је једна од седам основних физичких величина у Међународном систему јединица (SI).

На питање шта температура тела представља као меру можемо одговорити користећи честичну теорију. Честице у сваком телу (атоми, јони и молекули) налазе се у непрекидном кретању. Код чврстих тела честице осцилују око својих равнотежних положаја, док код течности и гасова честице могу и транслационо да се крећу. Честице у било ком од три агрегатна стања имају кинетичку енергију, која може бити различита за сваку честицу. Пошто не можемо да измеримо брзину (а тиме ни да израчунамо кинетичку енергију) сваке честице, можемо сматрати да се све честице крећу неком средњом брзином и да имају средњу кинетичку енергију. Загревањем тела повећавамо средњу кинетичку енергију честица, а обрнуто – његовим хлађењем средња кинетичка енергија честица се смањује. Имајући то у виду, можемо рећи да је температура мера средње кинетичке енергије градивних честица.

Загревањем се повећава средња кинетичка енергија честица, а тиме и температура тела, док се хлађењем смањује средња кинетичка енергија честица, па се самим тим смањује и температура тела. Ако се загрејано тело доведе у додир са хладнијим телом, долази до хлађења првог тела и загревања другог. После извесног времена оба тела ће имати исту температуру.



Слика 1. Пренос топлотне енергије са тела више температуре на тело ниже температуре

Температурне скале

Да бисмо измерили температуру, потребна нам је **температурна скала** помоћу које се мери степен загрејаности тела. У науци и свакодневном животу најчешће се користе две температурне скале: **Целзијусова температурна скала** и **Келвинова температурна скала**.

Целзијусова температурна скала, коју је увео шведски научник Андерс Целзијус, заснива се на две карактеристичне температуре воде: температури смрзавања и температури кључања. Целзијус је овај интервал поделио на 100 једнаких делова, при чему је добијена јединица мере – један Целзијусов степен. Према Целзијусовој температурној скали, температура смрзавања воде (односно температура топљења леда) износи $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура кључања воде $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, при нормалном атмосферском притиску. Температуре ниже од $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ имају негативне бројне вредности. На пример, стандардна температура замрзивача је $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Температуре које меримо у свакодневном животу, температура ваздуха у временској прогнози и многа научна мерења изражавају се у Целзијусовој температурној скали. Температуру измерену у Целзијусовим степенима означавамо словом t .

У науци, а нарочито у физици, потребна је температурна скала која је непосредно повезана са енергијом честица. Таква скала је **Келвинова температурна скала**. Она не почиње од произвољно изабране тачке, већ од температуре при којој честице имају најмању могућу енергију. То је температура при којој би престало њихово топлотно кретање. Та температура назива се **апсолутна нула** (означава се са T_0) и износи $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. У Келвиновој температурној скали та температура дефинисана је као нула келвина (0 K). Када температуру изражавамо у келвинима, говоримо о **апсолутној температури** тела и означавамо је словом T . Због тога је основна јединица температуре у Међународном систему јединица (SI) келвин (K).

Претварање температуре из једне температурне скале у другу врши се према следећој формули

$$: \quad T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

Користећи ову формулу, можемо израчунати да је температура смрзавања воде $273,15\text{ K}$, а температура кључања воде $373,15\text{ K}$. Из овога можемо закључити да је промена температуре иста, без обзира на то да ли је изражавамо у Целзијусовим степенима или у келвинима. Ако смо воду загрејали од температуре смрзавања до температуре кључања, променили смо јој температуру за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, односно за 100 K .



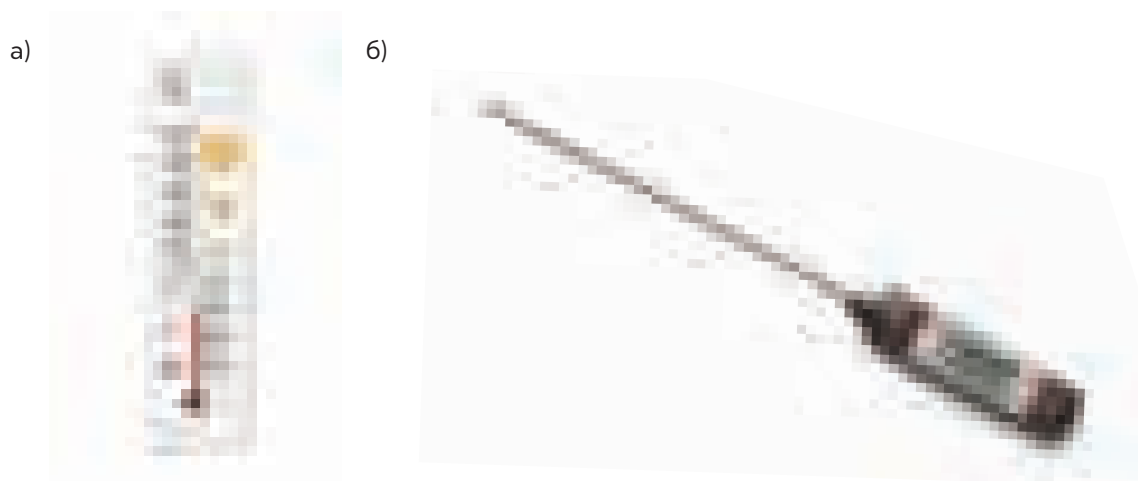
РЕШЕНИ ПРИМЕР

Да ли је температура од $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ већа или мања од $290,15\text{ K}$?

Дато:	Да бисмо упоредили температуре, можемо или t_1 изразити у келвинима, или T_2 изразити у Целзијусовим степенима. Испод су приказана оба претварања:
$t_1 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_2 = 290,15\text{ K}$	
Тражи се:	
$t_1 > T_2$	$T_1(\text{K}) = t_1(^{\circ}\text{C}) + 273,15 = 288,15\text{ K}$ $t_2(^{\circ}\text{C}) = T_2(\text{K}) - 273,15 = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$ Можемо закључити да је $t_1 < t_2$, односно $T_1 < T_2$.

Термометри

Мерни уређаји којима меримо температуру називају се термометри. При конструисању сваког термометра (Слика 2а) искоришћено је неко својство материјала које зависи од температуре. Код живиног и алкохолног термометра искоришћено је својство течности да повећавају своју запремину са повећањем температуре. Течност је смештена у уску стаклену или пластичну цев која на дну има резервоар. Када се течност у резервоару загрева, она се шири и подиже кроз цев. Поред цеви налази се градуисана скала на којој сваки подеок одговара одређеној температури. Очитавањем висине стуба течности на градуисаној скали меримо температуру. Данас се живини термометри све ређе користе, јер су испарења живе која се ослобађају приликом ломљења термометра штетна по здравље човека. С друге стране, алкохолни термометри не могу се користити за мерење високих температура, јер алкохол испарава на $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Најчешће се користе дигитални термометри, код којих се температура очитава на екрану (Слика 2б), а у њиховом саставу налази се супстанца или тело чија се електрична својства мењају са променом температуре.



Слика 2. а) Изглед термометра са течношћу. Течност може бити алкохол или жива.
б) Дигитални термометар са металном сондом.



АКТИВНОСТИ

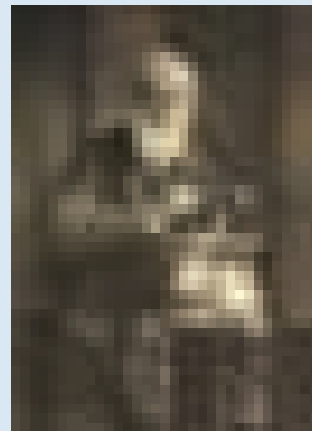
1. Проучавање зависности средње кинетичке енергије честица од температуре код гасова помоћу интерактивне интернет-странице

Отвори симулацију „Дифузија“ (Diffusion) на интернет-страници: https://phet.colorado.edu/sims/html/diffusion/latest/diffusion_all.html, где се у обе затворене посуде налази одређен број честица једне и друге супстанце. Нека температура у првој посуди буде веома висока, а у другој је смањи колико симулација дозвољава. Како се променила средња брзина којом се честице крећу у првој и у другој посуди? Какав закључак можеш извести о вези између средње кинетичке енергије честица и температуре?

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Лорд Келвин (William Thomson, 1824–1907)

Лорд Келвин био је један од најзначајнијих физичара 19. века. Његов највећи допринос повезан је са разумевањем топлоте као облика енергије и са дефинисањем појма апсолутне нуле, односно најниже могуће температуре при којој је кинетичка енергија честица једнака нули. Келвин је први схватио потребу за температурном скалом која се не заснива на својствима неке одређене супстанце (као што је случај са Целзијусовом температурном скалом), већ на основним законима природе. Тако је предложио апсолутну температурну скалу, која почиње од 0 K и независна је од било каквих физичких промена супстанце. Његов рад поставио је темеље савременом схватању топлоте, енергије и унутрашњих процеса у материји..



ЗАНИМЉИВОСТИ

Најнижа температура постигнута у лабораторији износи 38 pK, односно 0,000000000038 K.

ЗА 5+

Фаренхајтова температурна скала једна је од три најчешће коришћене температурне скале у свету (заједно са Целзијусовом и Келвиновом температурном скалом). Предложио ју је немачки физичар Данијел Габријел Фаренхајт 1724. године. На овој скали, тачка смрзавања воде одређена је на 32 °F, а тачка кључања воде на 212 °F при нормалном атмосферском притиску. То значи да се између ове две тачке налази 180 степени, што ову скалу чини гушће подељеном од Целзијусове температурне скале. Да бисмо претворили температуру из Целзијусових степени (°C) у Фаренхајтове степене (°F), користи се формула:

$$T_F(F) = \frac{9}{5} \cdot t(^{\circ}C) + 32.$$

У неким земљама Фаренхајтова скала користи се чешће од Целзијусове температурне скале.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИИ

1. Шта представља температура?
2. Зашто се апсолутна нула сматра најнижом могућом температуром?
3. Термометар показује -5°C . Колика је температура тела изражена у келвинима?
4. Ако један научни експеримент захтева да температура у лабораторији буде 250 K, израчунај колика треба да буде температура у лабораторији изражена у $^{\circ}\text{C}$?
5. На планини је температура -5°C , а у долини 12°C . Колика је разлика у температури у $^{\circ}\text{C}$ и у K? Шта уочаваш из прорачуна?



ЗАПАМТИ

- Температура је мера средње кинетичке енергије честица у супстанци.
- Термометар је уређај којим се мери температура.
- Температура се изражава Целзијусовим степенима или келвинима.
- Температура је једна од седам основних величина у Међународном систему јединица.

2.5. ТОПЛОТНО ШИРЕЊЕ ЧВРСТИХ ТЕЛА

ПОЈМОВИ

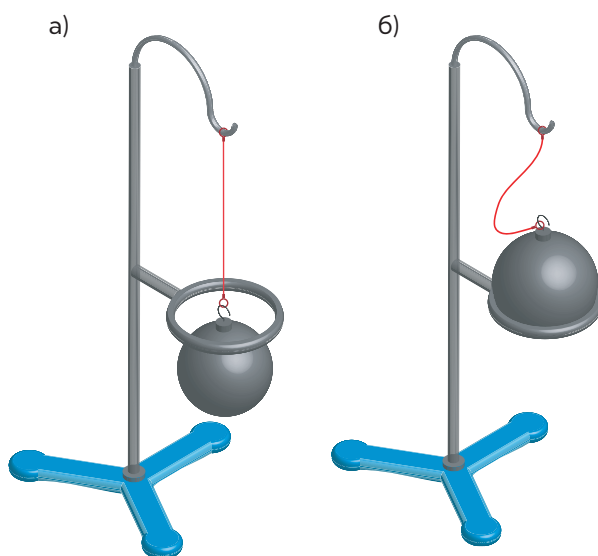
топлотно ширење

Већина чврстих тела се при загревању шири, односно њихова запремина се повећава, а при хлађењу се скупља, односно њихова запремина се смањује. Иако су код чврстих тела честице распоређене веома близу једна другој и њихово кретање је ограничено, ипак се оне удаљавају једна од друге при повећању температуре услед повећања њихове средње кинетичке енергије. Ово удаљавање доводи до повећања запремине тела. Процес повећања запремине тела при повећању његове температуре назива се **топлотно ширење**.

Топлотно ширење може изазвати промену запремине тела или промену дужине код издужених предмета, односно предмета код којих је једна димензија много већа од друге две. Када се тело загрева, његова запремина се повећава, а при хлађењу се смањује. Код предмета као што су жице, цеви или шипке, загревањем се повећава њихова дужина, а при хлађењу се смањује. Иако ове промене нису велике, оне су важне и морају се узети у обзир код многих инжењерских конструкција. У неким случајевима, услед топлотног ширења или скупљања, може доћи до пуцања или кидања материјала.

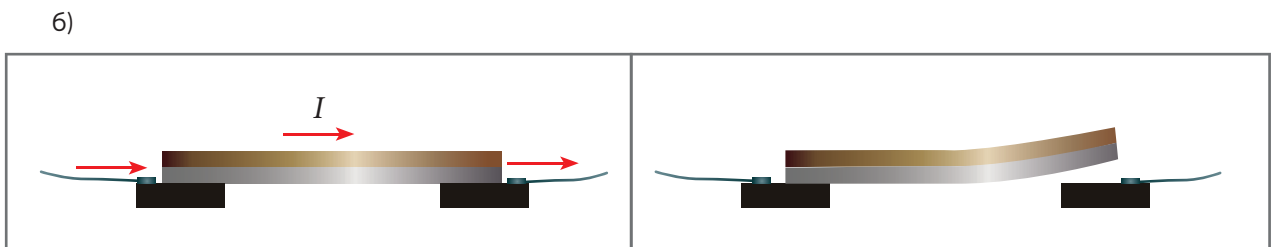
Запреминско ширење тела може се демонстрирати помоћу металне куглице и металног прстена, при чему је пречник куглице мало мањи од пречника прстена, као што је приказано на Слици 1. Када куглица није загрејана, она лако пролази кроз метални прстен, али ако је загрејемо помоћу шпиритусне лампе или пламеника, она неће проћи кроз отвор. Загревањем су градивне честице куглице добиле енергију, повећале своју брзину, а тиме се повећао и међучестични простор, што резултира повећањем запремине куглице. Ако куглицу оставимо да се охлади, она ће поново моћи слободно да пролази кроз метални прстен.

Промена запремине чврстог тела повезана је и са његовом густином. Густина тела представља количник масе и запремине тела. При загревању тела повећава се његова запремина, а смањује се његова густина. Супротно томе, са смањењем температуре смањује се запремина тела, а тиме се повећава његова густина.



Слика 1. Куглица пролази кроз прстен када је на собној температури (а), али не и када се загреје (б)

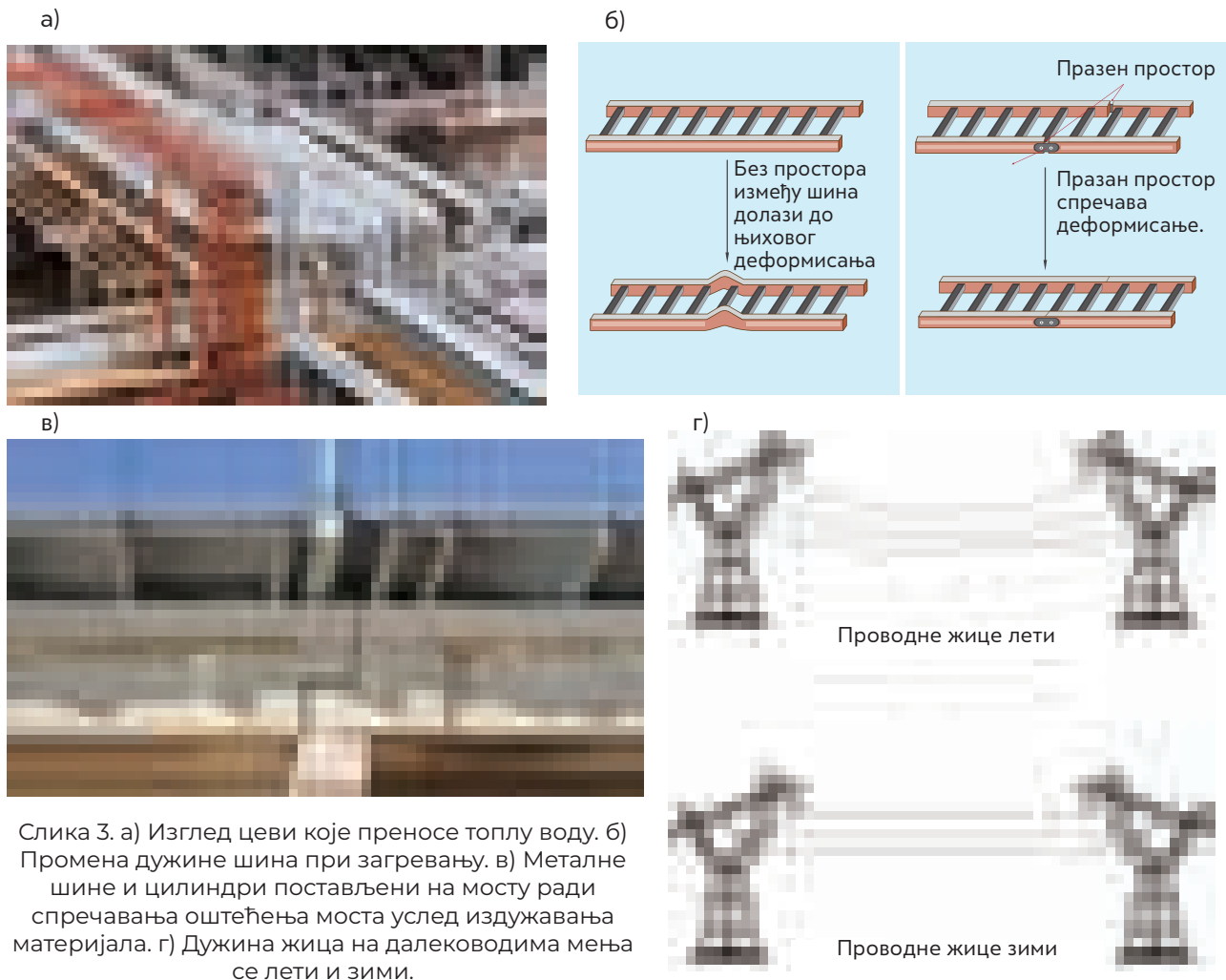
Ширење чврстих тела при загревању налази примену у техници. Ширење метала при загревању и њихово скупљање при хлађењу искоришћено је код биметалне траке. Биметална трака састоји се од две металне шипке које су чврсто спојене целом својом дужином. На Слици 2 приказана је биметална трака састављена од алуминијума и бакара, који се различито издужују при повећању температуре. При собној температури трака је права. Када се температура повећа, пошто се алуминијум издужује више од бакара, трака се савија нагоре. Ако се температура смањује, алуминијум се скупља више од бакара, па се трака савија надолу. Биметална трака користи се као прекидач у електричном колу (Слика 2), у термостату (уређајима за аутоматско регулисање температуре), код грејних тела, као што су електрична грејалица, електрична рерна или бојлер. Када се достигне одређена температура, биметална трака се савија и прекида електрично коло. Када се температура смањи, биметална трака се враћа у првобитни положај и поново затвара коло.



Слика 2. а) Биметална трака од алуминијума и бакара. б) Прекидач са биметалном траком.

Промена димензија код чврстих тела при промени температуре може имати и штетне последице. Човек користи различите начине да смањи негативне последице које настају услед промене запремине тела. Цеви које служе за спровођење топле воде или паре на појединим местима су савијене (Слика 3а). На тај начин омогућено је слободно издужавање дугих делова цеви, без њеног оштећења. Лети, при високим температурама, металне шине се шире и могу да се искриве. Зато инжењери остављају мале размаке између њих, како би било простора за ширење (Слика 3б). Металне шине и цилиндри (Слика 3в) део су система који омогућава мосту да се шири и скупља без оштећења. Ако не постоји простор за то кретање, може доћи до пукотина, напрезања или кидања конструкције.

Лети су проводне жице између далековода за пренос електричне енергије опуштене, јер се метал шири. Зими, када је хладно, оне се затежу, јер се метал скупља (Слика 3г).



Слика 3. а) Изглед цеви које преносе топлу воду. б) Промена дужине шина при загревању. в) Металне шине и цилиндри постављени на мосту ради спречавања оштећења моста услед издужавања материјала. г) Дужина жица на далеководима мења се лети и зими.



АКТИВНОСТ

1. Посматрање топлотног ширења металне жице

Затегни металну жицу између два статива и на средину постави тег масе 500 g. Измери висину на којој се налази доњи део тега у односу на површину стола. Жицу загревај феном или свећом (пажљиво и под надзором наставника) целом њеном дужином, како се не би прегрејала на једном месту. Пажљиво угаси фен или свећу, па поново измери висину на којој се налази доња ивица тега у односу на површину стола. Шта запажаш? Да ли се тег налази на мањој висини у односу на сто? Остави жицу да се охлади и поново измери висину на којој се налази тег. Да ли је та висина различита од почетне висине? Какав закључак можеш извести?



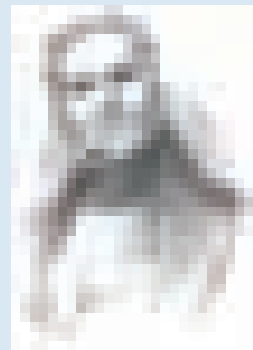
ЗАНИМЉИВОСТИ

Ајфелова кула је током летњег периода приближно 15 cm виша у односу на висину коју има током зимског периода.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Жан Пелтије (Jean Peltier 1785–1845)

Пелтије дао је значајан допринос раном проучавању топлотних процеса у металима. Његова систематска испитивања загревања, хлађења и топлотних деформација код металних спојева поставила су темеље за развој теорије преноса топлоте у чврстим телима. Ова истраживања касније су се показала као кључна за објашњење појава као што су топлотно ширење, промена електричног отпора са променом температуре и понашање материјала при великим променама температуре.



ЗА 5+

Ако тело има дужину која је много већа од преостале две димензије, тада можемо тачно одредити његову дужину l , ако знамо дужину тела l_0 на 0°C и температуру t на коју се тело загрева (изражену у $^\circ\text{C}$), према формули:

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot t).$$

Са α је означен коефицијент линеарног ширења, који је различит за различите супстанце. Коефицијент линеарног ширења бакра износи $1,65 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, док код алуминијума износи: $2,3 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Из последњих података јасно се може уочити зашто се алуминијум при загревању на исту температуру издужује више од бакра.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Зашто се густина металне куглице смањује када се она загрева?
2. Шта се дешава са честицама у биметалној траци када температура расте?
3. Да ли се сва чврста тела шире подједнако?
4. Метална шипка дужине 1 m загрева се и издужи за 1,2 mm. Колика је њена дужина после загревања?
5. Алуминијумска шипка дужине 2 m загрева се, па се издужила за 0,5 % своје дужине. Колико се издужила шипка?



ЗАПАМТИ

- Топлотно ширење је последица повећања кинетичке енергије честица при загревању и промене величине међучестичног простора.
- Чврста тела мењају своју дужину и запремину са променом температуре.
- При загревању чврстих тела запремина се повећава, а густина се смањује; при хлађењу запремина се смањује, а густина се повећава.
- Биметална трака се савија због различитог топлотног издужавања метала.
- Термостати користе биметалну траку, која служи као прекидач за аутоматско регулисање температуре.

2.6. ТОПЛОТНО ШИРЕЊЕ ТЕЧНОСТИ. АНОМАЛИЈА ВОДЕ

ПОЈМОВИ

аномалија воде

Као и чврсте супстанце, тако и течности мењају своју запремину када се загревају или хладе. Једноставним експериментом може се демонстрирати ширење течности при повећању њихове температуре. У две тиквице стављена је једнака количина воде и алкохола, обојених са неколико капи боје, како би се јасно разликовали. Тиквице су затворене чеповима кроз које је провучена уска стаклена цев и постављене су у посуду са загрејаном водом, као што је приказано на Слици 1. После кратког времена уочава се да у обе цеви ниво течности почиње да се подиже. То значи да се при загревању њихова запремина повећава, односно да се са повећањем температуре течност шири.

Ова појава може се објаснити честичном теоријом. Загревањем течности у тиквицама, молекули воде и алкохола добијају већу кинетичку енергију. Као последица повећања кинетичке енергије, они се крећу већом брзином и, сударајући се међусобно, повећавају међумолекулски простор. Повећање међумолекулског простора посматрамо као повећање запремине течности које се загревају.

Али, да ли се све течности шире подједнако? Ако пажљиво упоредиш обе тиквице, приметићеш да се запремина алкохола при загревању на исту температуру повећала више него запремина воде. Други закључак који можемо извести из овог експеримента јесте да различите течности имају различиту способност топлотног ширења. Ако се тиквице оставе дужије време, температура воде у широкој посуду ће се смањивати, а тиме и запремина воде и алкохола у тиквицама. Можемо закључити да се течности шире при загревању и скупљају при хлађењу, али да све течности не повећавају своју запремину подједнако при загревању, нити је подједнако смањују при хлађењу. Ширење течности при загревању искоришћено је код термометара са течномашћу.

Као и код чврстих тела, тако се и при загревању течности њихова запремина повећава, што значи да се њихова густина смањује. Обрнуто, када се течност хлади, њена запремина се смањује, што значи да се њена густина повећава.



Слика 1. Тиквица са алкохолом, обојеним плавом бојом, и тиквица са водом, обојеном црвеном бојом, постављене у посуду са загрејаном водом



АКТИВНОСТ

1. Израда модела термометра

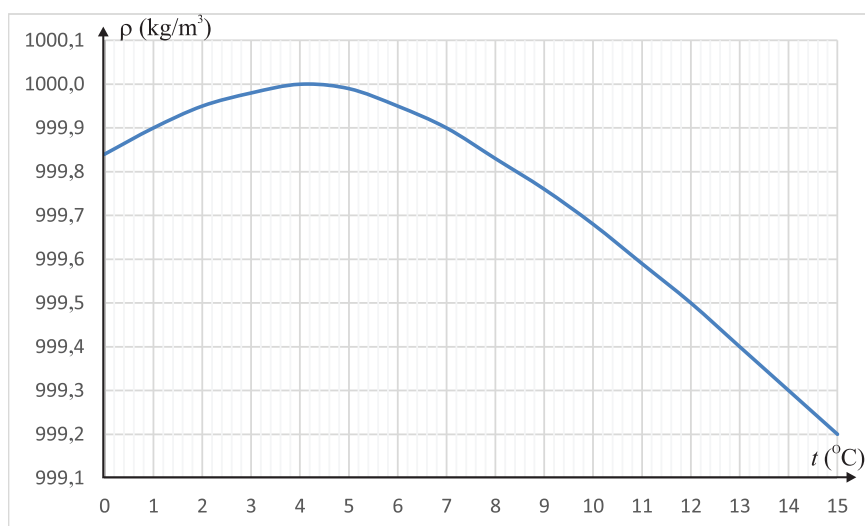
Напуни три четвртине пластичне флаше водом у којој си претходно растворио неколико капи прехранбене боје. Флашу затвори чепом на коме је направљен отвор. Кроз отвор провучи пластичну сламчицу и потопи је у воду око 2–3 cm. Пластелином или силиконом причврсти сламчицу на месту где пролази кроз чеп, тако да нема протока ваздуха. Обема рукама ухвати флашу у делу у коме се налази ваздух и држи руке на флаши неколико минута. Шта запажаш? Да ли је вода почела да се подиже у сламчици? Да ли би, употребом уже сламчице, ефекат био уочљивији?

Аномалија воде – изузетак који одржава живот

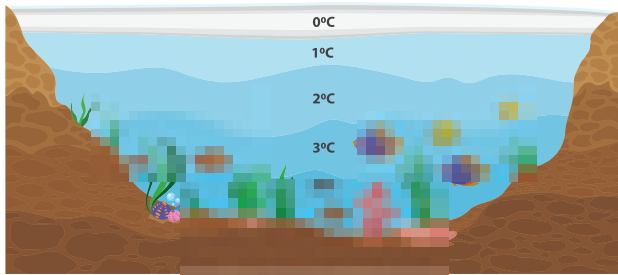
Закључак који смо извели – да се све течности шире при загревању, а скупљају при хлађењу – није закон, већ правило. Од правила могу постојати изузеци, па тако и од овог правила постоји један изузетак који је од суштинског значаја за живот на Земљи.

Код воде, са смањењем њене температуре смањује се и њена запремина, али само до температуре од 4 °C. Због тога је густина воде највећа на 4 °C. Ако се температура воде настави смањивати од 4 °C до 0 °C, вода се шири, а њена густина се смањује. Ова појава назива се **аномалија воде**.

Аномалију воде можемо објаснити тиме што се на температурама нижим од 4 °C, између атома водоника у молекулима воде јављају јаке међумолекулске силе. Под дејством ових сила молекули почињу да се распоређују у кристалне структуре које заузимају већи простор. Зато се запремина повећава, а густина смањује. На Слици 2 дат је график зависности густине воде од температуре. Са графика се може видети да је густина воде највећа при 4 °C и износи 1000 kg/m³. На 0 °C вода се претвара у лед. Тада су сви молекули распоређени у кристалну решетку, па се запремина додатно повећава, што доводи до још већег смањења густине. Пошто лед има мању густину од воде, он плута на површини воде.



Слика 2. Зависност густине воде од њене температуре.



Слика 3. Аномалија воде омогућава опстанак водених екосистема током зиме.

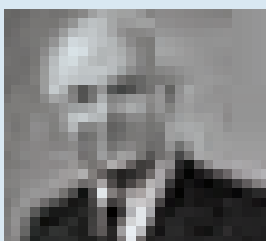
Ако се вода на површини охлади до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, она се замрзава. Испод слоја леда остаје вода у течном агрегатном стању, при чему се вода температуре $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ налази на дну мора и језера. То што дно мора и језера никада не замрзава омогућава опстанак водених биљака и животиња.

У природи аномалија воде доводи и до других последица. Тако ширење воде при смањењу њене температуре од $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и њено замрзавање изазивају пукотине у стенама и њихово уситњавање, појаву клизишта и распадање стенских масива. У свакодневном животу то може довести до оштећења водоводних цеви током зиме, појаве пукотина на путевима и пуцања стаклених флаша са течностима у замрзивачу. Такође, може довести до механичких кварова на системима у аутомобилима ако се не користи средство за спречавање замрзавања воде у хладњаку.



Слика 4. а) Оштећење асфалтног пута услед ширења воде и њеног замрзавања.
б) Оштећена бетонска ограда услед ширења воде.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Лајнус Полинг (Linus Pauling, 1901–1994)

Лајнус Полинг био је научник немачко-америчког порекла и један од најутицајнијих хемичара и научних комуникатора 20. века. Његов рад представља основу савременог разумевања хемијских веза и молекулске структуре. Полинг је први систематски објаснио улогу водоничних веза у структури воде и леда, показавши да су ове специфичне међумолекулске силе одговорне за необична својства воде.

Управо су његове анализе и модели омогућили разумевање зашто лед има кристалну структуру, па самим тим и мању густину од воде.

Освен неговите големи научни придонеси, Полинг е еден од ретките научници што добил две Нобелови награди: Нобелова награда за хемија (1954) за неговите истражувања на хемиската врска и структурата на молекулите, како и Нобелова награда за мир (1962) за неговата активна кампања против нуклеарните тестирања. Со ова, Полинг останува единствениот човек во историјата кој самостојно добил две Нобелови награди во различни области.

ЗА 5+

Запремина тела или течности при загревању V може се точно одредити ако су познати негова запремина V_0 на $0\text{ }^\circ\text{C}$ и температура t на коју се тело загрева (изражена у $^\circ\text{C}$), према формули:

$$V = V_0(1 + \beta \cdot t).$$

Са β је означен коефицијент запреминског ширења, који је различит за различите супстанции. Што је коефицијент запреминског ширења материјала од кога је тело направљено већи, то се запремина тела или течности више повећава при загревању. Изузетак од овог правила је вода у температурном интервалу од $0\text{ }^\circ\text{C}$ до $4\text{ }^\circ\text{C}$.

Коефицијент запреминског ширења воде при собној температури износи $3 \cdot 10^{-4}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, док код алкохола износи $1,1 \cdot 10^{-3}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Из последњих података јасно се може уочити зашто се алкохол при загревању на исту температуру шири више од воде.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Да не постоји аномалија воде, језера, мора и океани потпуно би се замрзавали, а живи свет у њима никада се не би ни развио.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИИ

1. Шта се дешава са запремином течности када се она загрева?
2. Како можемо експериментално показати да се течности шире при загревању?
3. Зашто лед плута на површини воде уместо да потоне?
4. Зашто не треба напунити флашу водом до врха пре него што се стави у замрзивач?
5. На графику на Слици 2 приказана је зависност густине воде од температуре.
 - а) Одреди на којој температури је густина воде максимална.
 - б) Шта се дешава са густином воде када се температура смањује испод $4\text{ }^\circ\text{C}$?
 - в) На којој температури густина воде износи $999,9\text{ kg/m}^3$?
 - г) Колика је густина воде при температури од $13\text{ }^\circ\text{C}$?



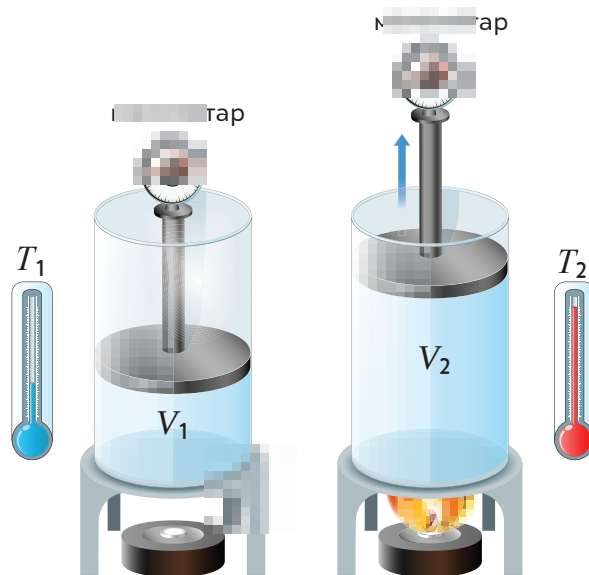
ЗАПАМТИ

- При загревању течности повећавају своју запремину. Различите течности шире се различито.
- Повећање запремине значи смањење густине течности.
- Аномалија воде је појава која се односи на њену густину. За разлику од других течности, вода има највећу густину при $4\text{ }^\circ\text{C}$, а не при точки смрзавања ($0\text{ }^\circ\text{C}$).
- Аномалијата на водата е од огромно значење за природата и за животот бидејќи овозможува водните екосистеми да преживеат при ниска температура.

2.7. ТОПЛОТНЕ ПРОМЕНЕ КОД ГАСОВА

ПРОМЕНА ЗАПРЕМИНЕ ГАСОВА СА ПРОМЕНОМ
ТЕМПЕРАТУРЕ(ШАРЛОВ ЗАКОН)

Гасови су супстанце које се по својим својствима знатно разликују од чврстих тела и течности. Гасови заузимају целокупан простор који им је на располагању, па се зато њихова запремина може лако променити. Нека је гас затворен клипом који може слободно да се креће. Ако гас загревамо, као што је приказано на Слици 2.21, приметимо да ће са повећањем температуре гаса клип почети да се помера нагоре, односно доћи ће до повећања запремине гаса. У овом случају, као и код чврстих тела и течности, са повећањем температуре гаса повећава се и његова запремина. Ако престанемо да загревамо гас, са смањењем температуре доћи ће и до смањења запремине гаса.



Слика 1. Повећање запремине гаса са повећањем његове температуре. Притисак гаса остаје сталан.

Када се гас загрева, његове честице имају већу кинетичку енергију и крећу се брже. Због бржег кретања, честице чешће и снажније ударају у зидове суда и у клип. При томе се клип помера нагоре, а гас повећава своју запремину при сталном (константном) притиску.

Ако је пре загревања температура гаса износила T_1 (изражена у келвинима), а запремина гаса била V_1 , после загревања гаса на температуру $T_2 = 2 \cdot T_1$ уочава се да ће гас имати запремину $V_2 = 2 \cdot V_1$. Ако температуру гаса повећамо три пута, тада ће се и његова запремина повећати три пута. Може се уочити да је количник запремине гаса и његове температуре, при сталном притиску гаса, константна вредност. То значи да запремина гаса зависи директно пропорционално од његове температуре (константу пропорционалности означимо са k). Овај закључак назива се Шарлов закон о топлотном ширењу гасова при константном притиску. Шарлов закон може се записати и као:

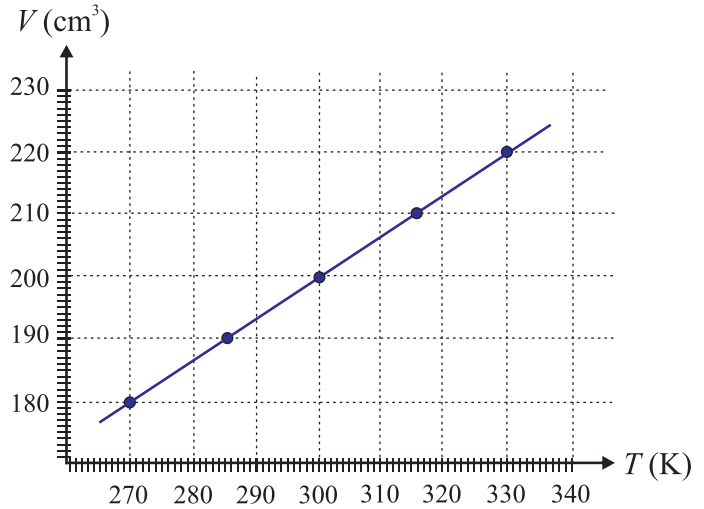
$$\frac{V}{T} = k \Rightarrow V = k \cdot T .$$

На графику на Слици 2 приказано је загревање гаса са температуре 270 K на 330 K. Запремина гаса повећала се са 180 cm³ на 220 cm³. График је права линија, што представља доказ да запремина гаса директно пропорционално зависи од његове температуре.

Шарлов закон може се искористити за одређивање коначне запремине при загревању гаса ако су познати његова почетна запремина, почетна температура и крајња температура на коју је гас загрејан, према једначини:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Доказ топлотног ширења гасова представља издувана лопта остављена на сунцу. После извесног времена изгледа као да се сама надувала. Код балона са корпом, пре полетања, балон се пуни загрејаним ваздухом.



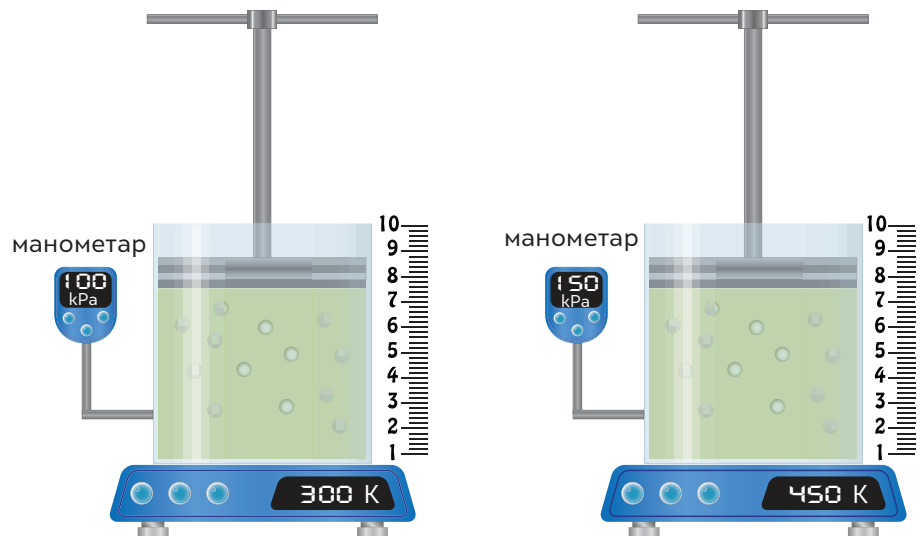
Слика 2. Зависност запремине гаса од његове температуре.

ПРОМЕНА ПРИТИСКА ГАСОВА СА ПРОМЕНОМ TEMПЕРАТУРЕ (ГЕЈ-ЛИСАКОВ ЗАКОН)

Ако је гас затворен у суду чија се запремина не мења, тада загревање гаса, односно повећање његове температуре, изазива повећање притиска гаса. На Слици 3 приказан је суд затворен клипом који не може да се помера.

У почетном тренутку, када је гас био загрејан на температуру од 300 K, притисак гаса који је показивао манометар износио је 100 kPa. После загревања гаса на температуру од 450 K, притисак гаса порастао је на 150 kPa.

. Пошто је запремина суда стална (не може се променити), а температура се по-

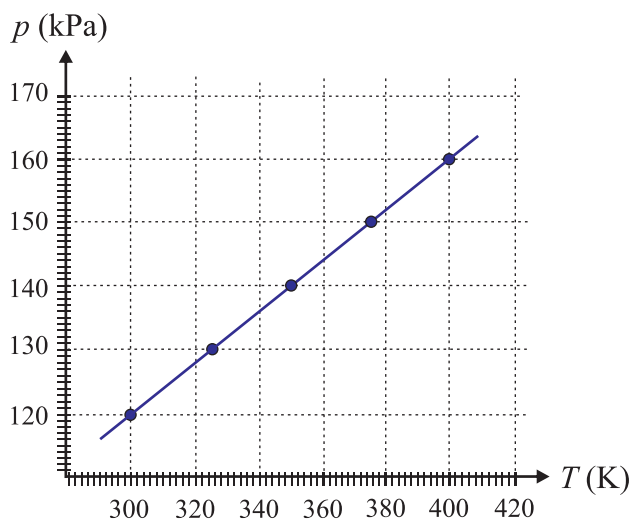


Слика 3. Повећање притиска гаса са повећањем његове температуре.

већава, честице поново добијају више енергије и крећу се брже. Пошто немају додатни простор за ширење, број удара у клип и зидове суда се повећава, чиме се повећава и притисак у суду. Зато, када се температура повећава, а запремина остаје непромењена, повећава се и притисак гаса.

Ако је пре загревања температура гаса износила T_1 (изражена у келвинима), а притисак гаса био p_1 , после загревања гаса на температуру $T_2 = 2 \cdot T_1$ уочава се да ће гас имати притисак $p_2 = 2 \cdot p_1$. Може се уочити да је количник притиска гаса и његове температуре, при сталној запремини, константна вредност (константу пропорционалности сада ћемо означити са K , и она не зависи од температуре и притиска гаса). Другим речима, притисак гаса директно је пропорционалан његовој температури. Овај закључак назива се Геј-Лисаков закон о промени притиска гаса при загревању под условом сталне запремине. Геј-Лисаков закон може се записати и као:

$$\frac{p}{T} = K \Rightarrow p = K \cdot T.$$



Слика 4. Зависност притиска гаса од његове температуре.

На графику на Слици 4 приказано је загревање гаса са температуре 300 К на 400 К. Притисак гаса повећао се са 120 кПа на 160 кПа. График је права линија, што представља доказ да притисак гаса директно пропорционално зависи од његове температуре.

Геј-Лисаков закон може се искористити за одређивање коначног притиска при загревању гаса ако су познати његов почетни притисак, почетна температура и крајња температура на коју је гас загрејан, према једначини:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Доказ повећања притиска гаса са повећањем температуре представљају пластичне флаше напуњене газираним пићима, које се могу деформисати или експлодирати ако се оставе на сунцу. Притисак у гумама аутомобила, ако је аутомобил остављен на сунцу, повећава се. На плинским боцама напуњеним природним гасом наведено је да се морају чувати даље од извора топлотне енергије.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

Суд затворен клипом садржи ваздух запремине $0,001 \text{ m}^3$ при температури од 270 К.

- Гас је загрејан до температуре од 540 К. Ако се клип померио нагоре, израчунај запремину гаса после загревања?
- Када је гас био на температури од 540 К, његов притисак износио је 100 000 Па. Гас је затим

охлађен до температуре од 270 K, при чему се клип заглавио и није се померао. Израчунај колики је био притисак гаса после хлађења.

Дато:	а) Гас се загрева при сталном притиску, па зато важи:
	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = V_1 \frac{T_2}{T_1} = 0,001 \text{ m}^3 \cdot \frac{540 \text{ K}}{270 \text{ K}} = 0,002 \text{ m}^3.$
	б) Пошто се клип не помера, не може доћи до промене запремине гаса, па се зато мења његов притисак. За притисак у коначном стању важи:
Тражи се:	$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \Rightarrow p_3 = p_2 \cdot \frac{T_3}{T_2} = 100000 \text{ Pa} \cdot \frac{270 \text{ K}}{540 \text{ K}} = 50000 \text{ Pa}.$
$V_2 - ?$	
$p_3 - ?$	

★ ПОЗНАТ НАУЧНИК

Жак Шарл (Jacques Charles, 1746–1823)

Француски научник Жак Шарл познат је по свом експерименталном раду са топлим ваздухом и гасовима. Он је први систематски проучавао промене запремине гасова при промени температуре, користећи прецизно израђене балоне и затворене судове испуњене ваздухом. Иако сам није објавио формулу за топлотно ширење гасова, његове резултате касније је математички обрадио Геј-Лисак, па тако данас Шарлов закон носи његово име. Осим у физици, Шарл је био и иноватор у ваздухопловству. Конструисао је први балон напуњен водоником и сам полетео њиме, отворивши пут ка савременој аеронаутици.



АКТИВНОСТИ

1. Испитивање топлотног ширења гасова

На отвор празне пластичне флаше постави балон. Флашу стави у посуду са топлим водом. Шта запажаш? Да ли је балон почео да се надувава? Шта то показује о гасу који се загрева? Затим стави флашу под млаз воде из чесме. Шта се догодило? Да ли се запремина балона смањила са смањењем температуре гаса?

2. Испитивање Шарловог и Геј-Лисаковог закона помоћу интерактивне интернет-странице

Отвори симулацију „Својства гаса“ (Gas Properties) на интернет-страници: https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_all.html и покренi симулацију „Идеалан“ (Ideal). Твој задатак је да истражиш зависност између притиска, запремине и температуре гаса. Најпре постави запремину на константну вредност и мењај температуру гаса. За сваку температуру у свеску запиши колики је био притисак гаса. Да ли притисак расте директно пропорционално са температуром? Колика је константа пропорционалности? Промени број честица гаса и поново провери да ли важи Геј-Лисаков закон.

Затим укључи могућност промене запремине и забележи колики је притисак гаса. Ако загрејеш гас, односно ако повећаш његову температуру, повећаће се притисак гаса. Покушај да повећаш запремину суда тако да манометар покаже вредност притиска коју је гас имао пре загревања. Шта запажаш? Да ли је било потребно да повећаш запремину гаса како би притисак остао сталан? Понови поступак са различитом температуром.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Први успешан балон са топлим ваздухом уздигао се са површине Земље 1783. године..

ЗА 5+

Идеалан гас је модел гаса код кога можемо сматрати да честице имају занемарљиво малу запремину у односу на међучестични простор и да међусобно делују само приликом судара. Сви реални гасови, као што су кисеоник, азот или ваздух, могу се сматрати идеалним гасовима ако нису загрејани на веома високу температуру и ако њихов притисак није много већи од нормалног атмосферског притиска. Код гасова се истовремено могу мењати притисак, запремина и температура. На пример, када се балон испуњен топлим ваздухом подиже у ваздух, температура околног ваздуха опада са висином. Спољашњи притисак се такође смањује са висином, а запремина балона се повећава.

У оваквом случају, за два стања гаса (на пример, за две висине на којима се налази балон из примера) можемо записати следећу једначину:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2},$$

где су p_1 , V_1 и T_1 притисак, запремина и температура гаса у првом стању, а p_2 , V_2 и T_2 притисак, запремина и температура гаса у другом стању.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта је заједничко чврстим телима, течностима и гасовима када се загревају?
2. Гас има запремину 2 L при температури од 300 K. Колика ће бити запремина гаса ако га загрејемо на 600 K при непромењеном притиску?
3. Балон са ваздухом има запремину од 20 L при температури од 10 °C. На којој температури ће гас имати запремину 40 L, ако се промене одвијају при константном притиску?
4. У суду са сталном запремином притисак гаса је 270 kPa при 27 °C. Колики ће бити притисак при 127 °C?
5. Одреди колико ће се пута повећати притисак гаса при константној запремини ако се загреје са 50 °C на 100 °C.



ЗАПАМТИ

- Запремина дате количине гаса при сталном притиску директно је пропорционална температури.
- Притисак одређене количине гаса при сталној запремини директно је пропорционалан температури.

2.8. ПРОМЕНЕ КОД ГАСОВА ПРИ КОНСТАНТНОЈ ТЕМПЕРАТУРИ

Промене код гасова при сталној температури – Бојл–Мариотов закон

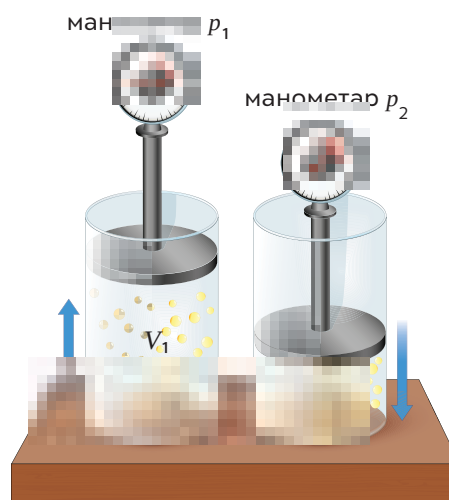
Гасови се састоје од огромног броја молекула који се хаотично крећу у свим правцима, различитим брзинама. Те честице непрестано ударају у зидове суда у коме се налази гас. Управо ти удари честица о зидове стварају притисак гаса, који делује у свим правцима и смеровима. Што чешће и већом брзином молекули ударају у зидове, то је притисак гаса већи. У претходној лекцији видели смо шта се дешава са гасом када се мења његова температура: при загревању молекули добијају већу кинетичку енергију и то доводи до промене запремине или притиска. У овој лекцији размотрићемо шта се дешава када је температура гаса константна, односно стална, а мењамо запремину гаса.

Промена запремине и притиска при сталној температури

Нека је одређена количина гаса затворена у цилиндричном суду са покретним клипом, као на Слици 1. Сматрајмо да је температура гаса стална. У почетном стању гас има запремину V_1 , а притисак гаса је p_1 . Затим полако притискамо клип надоле, тако да се гас сабија (компримује) и заузима мању запремину V_2 .

Пошто се температура не мења, кинетичка енергија молекула остаје иста, односно њихова средња брзина се не мења. Међутим, сада је запремина мања, молекули имају мањи међумолекулски простор, па много чешће ударају у зидове суда и у клип. Број судара се повећава, а самим тим се повећава и притисак гаса. Можемо закључити да се, при сталној температури, ако се запремина гаса смањује, његов притисак повећава. Исто тако, ако се запремина гаса повећава, притисак се смањује. Већа запремина значи и већи међумолекулски простор. Због тога се број судара са клипом смањује, што значи да се и притисак смањује.

Прва мерења зависности између запремине и притиска при сталној температури извршили су Роберт Бојл и Едм Мариот. Они су запазили да, за дату количину гаса на



Слика 1. Повећање притиска гаса смањењем његове запремине при сталној температури.

истој температури, производ притиска и запремине остаје константан, односно:

$$p \cdot V = C'$$

где је C константа пропорционалности која не зависи од запремине нити од притиска гаса.

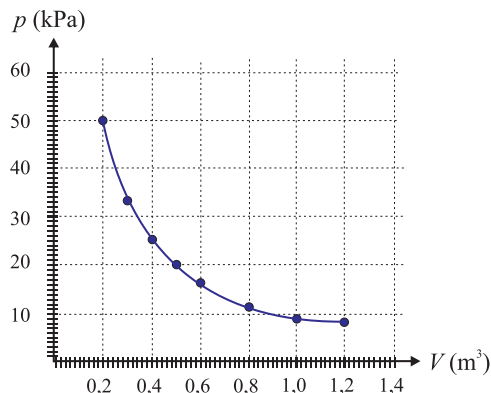
Бојл–Мариотов закон показује да су притисак и запремина обрнуто пропорционални. На графику на Слици 2 приказано је смањење притиска гаса са 50 kPa на 8,3 kPa. Запремина гаса повећала се са 0,2 m³ на 1,2 m³.

Ако посматрамо два стања истог гаса при истој температури, тада важи:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

Овом једначином можемо израчунати коначни притисак ако се запремина гаса промени при сталној температури, или обрнуто – можемо одредити запремину гаса ако знамо како се променио његов притисак.

Доказ за промену притиска гаса са променом запремине имамо код пумпе за гуме бицикла: при притискању клипа смањујемо запремину ваздуха унутар пумпе, па притисак расте и ваздух улази у гуму. При рођењу под водом притисак на рониоца се повећава, па се запремина ваздуха у плућима смањује. Овај други пример представља доказ да се са променом притиска мења и запремина гаса.



Слика 2. Зависност притиска гаса од његове запремине при сталној температури.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

Гас запремине 0,15 m³ компримује се све док се његов притисак не повећа 2,5 пута. Израчунај коначну запремину гаса ако се промена врши при сталној температури.

Дато:	Пошто се промена код гаса врши при сталној температури, за запремину гаса после компресије важи:
$V_1 = 0,15 \text{ m}^3$	$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = V_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} = 0,15 \text{ m}^3 \cdot \frac{1}{2,5} = 0,06 \text{ m}^3$
$\frac{p_2}{p_1} = 2,5$	
Тражи се:	
$V_2 - ?$	

ЗА 5+

Ваздух је смеша гасова. Сваки гас у смеси има „свој“ притисак. То доводи до једног од најважнијих закона у физици гасова, познатог као Далтонов закон о парцијалним притисцима. Према овом закону, укупан притисак смеше гасова једнак је збиру парцијалних (појединачних) притисака свих гасова у њој. Другим речима, сваки гас „доприноси“ једном делу притиска, а сви заједно дају укупан притисак. На пример, ако је смеша састављена од три гаса, можемо записати:

$$p_{\text{укупно}} = p_1 + p_2 + p_3 \text{ где су } p_1, p_2 \text{ и } p_3 \text{ парцијални притисци сваког од гасова.}$$



АКТИВНОСТИ

1. Истраживање зависности притиска од запремине гаса

Узми празан шприц и затвори отвор прстом. Притисни клип да смањиш запремину. Честице се чешће сударају са зидовима и са прстом, односно притисак се повећава. Шта осећаш на прсту? Сада повећај запремину – извуци клип напоље. Шта сада осећаш на прсту? У ком случају је притисак био већи?

2. Испитивање Бојл–Мариотовог закона помоћу интерактивне интернет-странице

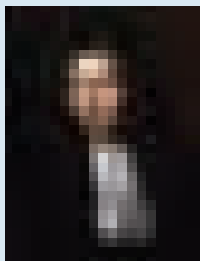
Отвори симулацију „Својства гаса“ (Gas Properties) на интернет-страници:

https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_all.html и покрени симулацију „Идеалан“ (Ideal).

Изабери затворени суд са гасом. Подеси температуру на сталну вредност (не мењај је!). Помоћу контроле за запремину смањуј и повећавај запремину суда. Посматрај манометар који показује притисак гаса. Запиши вредности запремине и притиска за неколико различитих запремина гаса. Податке унеси у табелу и нацртај график зависности притиска од запремине гаса. Да ли је твој график сличан графику са Слике 2?



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Роберт Бојл (Robert Boyle 1627–1691)

Роберт Бојл био је енглески природни научник који се сматра једним од оснивача модерне хемије и експерименталне физике. Његови експерименти са ваздухом доказали су да ваздух није „континуум“, како се раније сматрало, већ да је састављен од честица и да има одређена физичка својства. У својим истраживањима Бојл је користио пнеуматску пумпу, којом је испитивао својства гасова при различитим притисцима и запреминама. Управо је кроз те експерименте Бојл открио зависност између притиска и запремине гаса при сталној температури – зависност која данас носи његово име.



ЗАНИМЉИВОСТИ

При нормалном дисању дијафрагма мења запремину грудног коша и плућа, чиме се мења притисак у плућима, па ваздух улази у њих или излази из њих.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Каква је зависност између притиска и запремине гаса при сталној температури?
2. Како ће се променити притисак гаса ако се запремина смањи два пута, а температура остане иста?
3. Гас има притисак 100 kPa и запремину 2 L. Колики ће бити притисак гаса при сталној температури ако се запремина смањи на 1 L?
4. Ваздушни мехур у језеру има запремину 50 cm^3 на површини (притисак 100 kPa). На већој дубини притисак је 150 kPa. Колика је била запремина мехура ако је температура ваздуха у мехуру стална?
5. Гас има притисак 100000 Pa и запремину 600 mL. Колика ће бити запремина ако се притисак смањи за 25 % при сталној температури?



ЗАПАМТИ

- Притисокот на гасот е резултат на ударите на неговите честички во ѕидовите на садот.
- Ако волуменот на гасот се намали, притисокот на гасот при константна температура се зголемува.
- Ако волуменот на гасот се зголеми, притисокот на гасот при константна температура се намалува.

2.9. УНУТРАШЊА ЕНЕРГИЈА, ТОПЛОТА И ТЕМПЕРАТУРА

ПОЈМОВИ

унутрашња енергија

топлота (Q)

размена топлоте

топлотна равнотежа

Већ знамо да је свака супстанца изграђена од огромног броја градивних честица, атома, јона или молекула који су у сталном кретању. Без обзира на то да ли је супстанца или тело у чврстом, течном или гасовитом агрегатном стању, градивне честице никада не мирују. Управо њихово кретање и међусобно деловање дају једну од најважнијих физичких величина у физици, а то је унутрашња енергија.

Унутрашња енергија једног тела је укупна енергија свих његових честица: кинетичка енергија честица услед осциловања или кретања и потенцијална енергија на-



Слика 1. Због огромне унутрашње енергије гејзири избацују воду.

стала услед њиховог међусобног деловања. Што је температура тела виша, то је већа средња кинетичка енергија честица, а самим тим и унутрашња енергија. Зато топла вода има већу унутрашњу енергију од хладне воде исте масе.

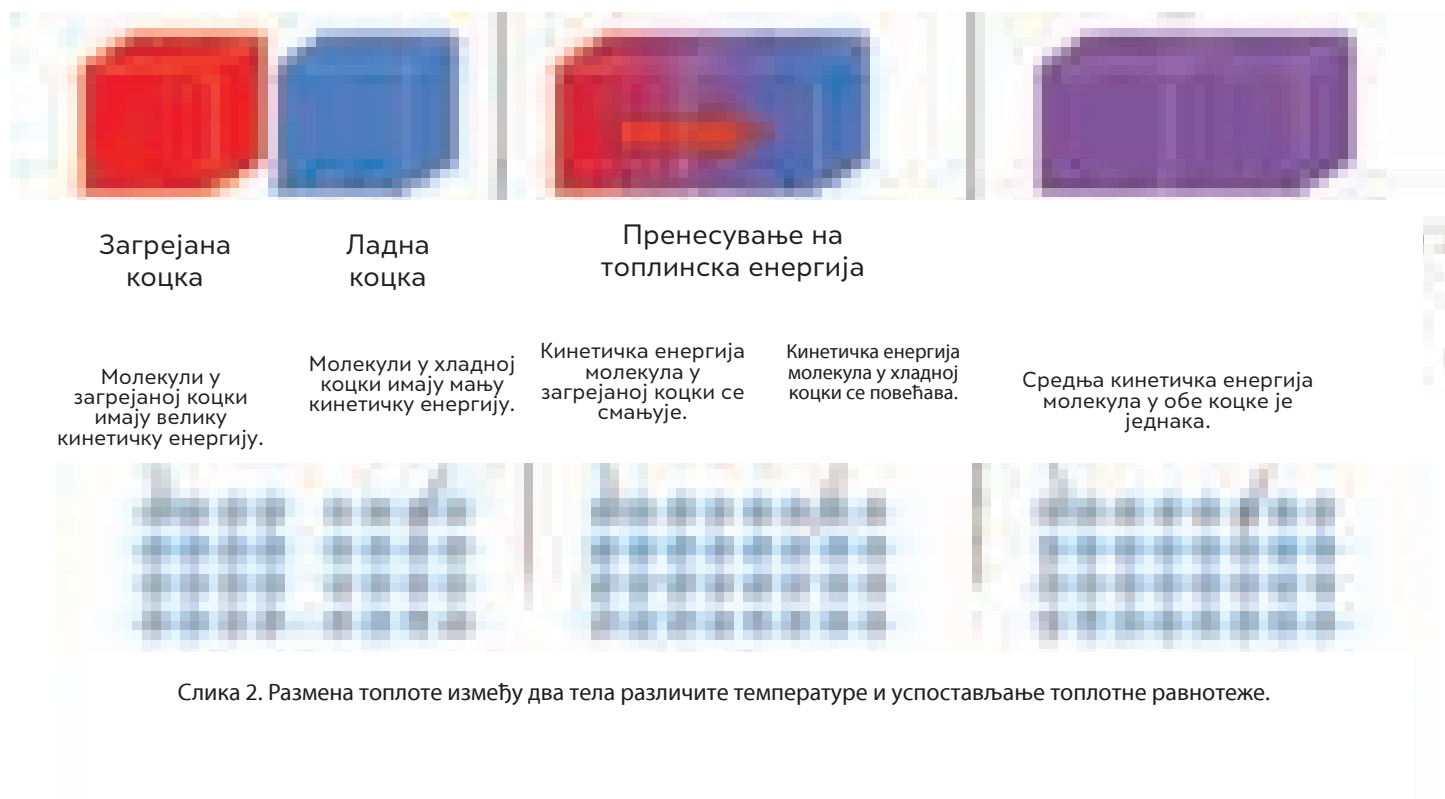
У унутрашњу енергију не улазе кинетичка и гравитациона енергија тела као целине. Ако се предмет налази на подлози и подигнемо га на неку висину, мењамо гравитациону потенцијалну енергију тела, али не и његову унутрашњу енергију.

Температура је мера степена „загрејаности“ тела, односно мера средње кинетичке енергије честица. Важно је разумети да температура **није мера** укупне унутрашње енергије. Тако два тела могу имати исту температуру, али ако немају исту масу или су изграђена од различитих супстанци, имаће различиту унутрашњу енергију. Укупна потенцијална енергија честица код различитих супстанци је различита, а њена вредност зависи од количине супстанце.

Унутрашња енергија тела може се променити на два начина: вршењем рада или разменом топлоте. Ако се на јако ужалувану ринглу електричног шпорета попрскају капи воде, може се посматрати како капи поскакују – што значи да је унутрашња енергија рингле извршила рад, а део унутрашње енергије се као **топлота** пренео на капи, јер се оне загревају и вода из њих испарава. У оба случаја долази до смањења унутрашње енергије рингле. Унутрашња енергија тела може се повећати и вршењем рада. Ако протрљаш једну руку о другу, механички рад који си извршио претворио се у унутрашњу енергију.

Топлота (Q) или **топлотна енергија** је енергија која се преноси са једног тела на друго услед разлике у температури та два тела. Топлотна енергија се спонтано увек преноси са тела више температуре. Када се између два тела одвија **размена топлоте**, температура тела више температуре се смањује, а истовремено се темпера-

тура тела ниже температуре повећава. Када оба тела достигну исту температуру, престаје размена топлотне енергије и каже се да су тела у **топотној равнотежи**.



Слика 2. Размена топлоте између два тела различите температуре и успостављање топлотне равнотеже.

Промена унутрашње енергије тела као последица размене топлоте записује се формулом:

$$E_2 - E_1 = Q \text{ или } \Delta E = Q.$$

где су E_1 почетна унутрашња енергија тела, E_2 коначна унутрашња енергија тела, а Q топлотна енергија коју је тело предало или примило. Друга једначина је идентична првој. Са ΔE означена је промена унутрашње енергије тела. Истовремено Q је и топлотна енергија коју је примило мање загрејано тело, као и топлотна енергија коју је предало више загрејано тело. Када тело прима топлотну енергију, његова унутрашња енергија се повећава. Када предаје топлотну енергију, његова унутрашња енергија се смањује.

Један једноставан пример то илуструје: ако се метална кашика стави у топлу супу, топлота се преноси са супе на кашику. Временом кашика постаје топла, не зато што супа „прелази“ у кашику, већ зато што честице супе путем судара предају део своје енергије кашици. На тај начин унутрашња енергија кашике се повећава, а супа се хлади.



Слика 3. Листови биљке која успева у тропским пределима.

се биљке „хладе“ испаравањем воде са листова (Слика 3), а пси исплажу језик како би се брже хладили испаравањем.

Унутрашња енергија, топлота и температура су три повезана, али различита појма. Температура је мера средње кинетичке енергије честица, унутрашња енергија је збир укупне кинетичке и потенцијалне енергије свих честица, а топлота описује енергију која се преноси између тела услед разлике у њиховој температури. Разумевање њихове међусобне повезаности представља основу за проучавање свих процеса повезаних са загревањем, хлађењем и променама агрегатног стања.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Када дувамо у топао чај да би се охладио, заправо убрзавамо испаравање.

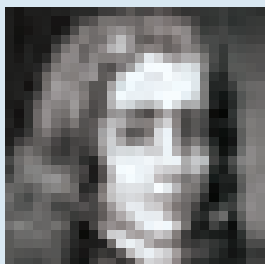
ЗА 5+

Ако се гасу доведе топлотна енергија, она се делом троши на загревање гаса, односно на повећање његове унутрашње енергије, а део те топлотне енергије троши се на вршење рада ако гас може да повећава своју запремину. На пример, ако гасу који се налази у суду са покретним клипом доведемо топлотну енергију, један њен део ће се утрошити на повећање унутрашње енергије (повећање температуре гаса), а други део ће се утрошити на вршење механичког рада, односно на померање клипа. Овај закључак назива се Први закон термодинамике и дат је следећом формулом:

$$Q = \Delta E + A,$$

где је Q доведена топлотна енергија гаса, ΔE промена унутрашње енергије, а A извршени рад.

★ ПОЗНАТ НАУЧНИК



Едм Мариот (Edme Mariotte, околу 1620–1684)

Едм Мариот био је француски физичар и свештеник, члан Француске академије наука и један од пионира експерименталне физике у Европи. Мариот је први експериментално доказао да ваздух има масу, а проучавао је и појаве повезане са кретањем воде у биљкама, као и законе пада тела у различитим срединама.

Најзначајнији Мариотов допринос јесте независно откриће везе између притиска и запремине гаса при сталној температури.

Иако је Роберт Бојл објавио исти закон неколико година раније у Енглеској, Мариот га је потврдио и проширио резултат, прецизно формулишући да је при сталној температури производ притиска и запремине одређене количине гаса константан. Отуда се овај закон данас назива Бојл–Мариотов закон. Овај закон је непосредно повезан са унутрашњом енергијом гаса, јер је температура мера средње кинетичке енергије честица. Закон важи само ако је температура стална.



АКТИВНОСТ

1. Хлађење при испаравању

Натопи два комада памука: један водом, а други алкохолом. Постави их на стаклене плочице и термометром измери температуру сваке плочице. Код које се стаклене плочице температура брже смањује? Шта можеш да закључиш на основу резултата мерења?



ПИТАЊА И ЗАДЦИ

1. Зашто два тела различите масе на истој температури имају различиту унутрашњу енергију?
2. Шта би се догодило са температуром воде када бисмо магично могли да „задржимо“ све молекуле који би иначе испарили?
3. Како се успоставља топлотна равнотежа између два тела различите температуре?
4. Тело са почетном унутрашњом енергијом 2000 J прими 800 J топлоте, а затим преда 300 J околини. Одреди његову унутрашњу енергију после ових промена.
5. Чаша топлог чаја 70 °C остављена је у просторији у којој је температура 20 °C. Опиши процес успостављања топлотне равнотеже и наведи шта се дешава са унутрашњом енергијом чаја.



ЗАПАМТИ

- Унутрашња енергија је укупна енергија свих честица у телу.
- Унутрашња енергија се повећава са повећањем температуре.
- Топлота је енергија која се преноси између тела услед разлике у њиховим температурама.
- Топлота се спонтано увек преноси са топлијег на хладније тело све док се не успостави топлотна равнотежа.
- При испаравању течност се хлади јер најбржи молекули напуштају њену површину.

2.10. ПРЕНОС ТОПЛОТЕ. КОНДУКЦИЈА (ТОПЛОТНА ПРОВОДЉИВОСТ)

ПОЈМОВИ

топлотна проводљивост / кондукција

топлотни проводници

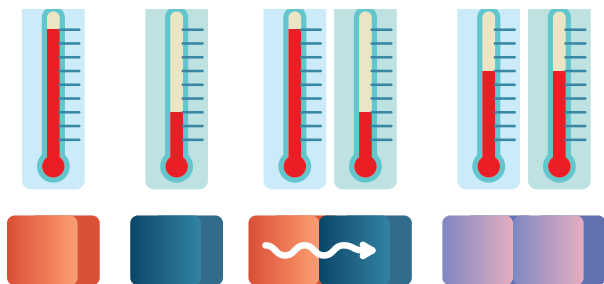
топлотни изолатори

Топлота представља енергију која се увек преноси са тела више температуре на тело ниже температуре, све док се не успостави топлотна равнотежа. У природи и техници постоје три основна начина преноса топлоте: **кондукција (топлотна проводљивост)**, **конвекција (струјање)** и **радијација (зрачење)**. Иако се на сва три начина преноси енергија, они се одвијају на различите начине и зависе од својстава супстанце. Овде ћемо се детаљније задржати само на топлотној проводљивости.

Топлотна проводљивост (кондукција)

Кондукција представља пренос топлоте без преноса супстанце са једног места на друго. Када један крај металне кашике ставимо у топао чај, осећамо да се постепено загрева цела кашика, све до другог краја који држимо у руци. Разлог је тај што честице

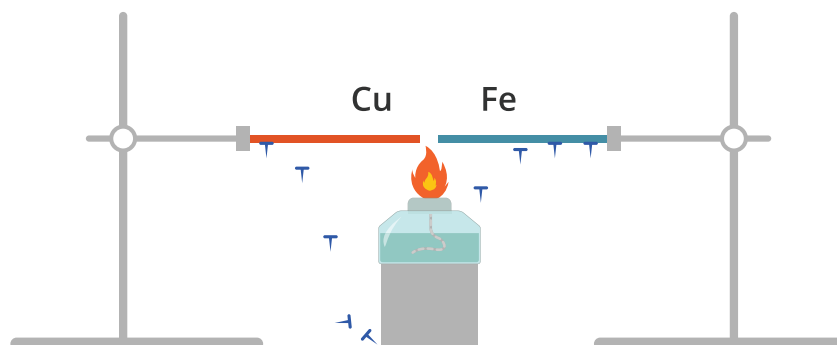
на топлем крају кашике примају топлотну енергију чаја и повећавају своју средњу кинетичку енергију. Та енергија се путем судара са суседним честицама у кристалној решетки преноси на све честице дуж целе кашике. Што дуже кашика стоји у чају, то ће се више загрејати. Пренос топлотне енергије престаје када тела достигну исту температуру. На Слици 1 приказан је пренос топлотне енергије између два тела загрејана на различите температуре.



Слика 1. Пренос топлотне енергије кондукцијом.

Топлотну проводљивост лако ћемо приказати следећим огледом, приказаним на Слици 2. На сталцима су причвршћене

металне шипке, на које су помоћу воска причвршћени метални ексерихи на једнаким растојањима. Крајеве шипки загревамо пламеном свеће. Обе шипке постављене су на истој висини и на истом растојању од пламена. Убрзо након загревања запажа се да восак почиње да се топи и да ексерихи почињу да падају. Најпре падају они који су најближи пламену, а затим, један по један, и остали. Крајеви шипки који су у непосредном додиру са пламеном највише се загревају. У тим деловима шипки честице почињу брже да се крећу, њихова средња кинетичка енергија се повећава и преноси на суседне честице. Температура се повећава дуж целе дужине шипки. У овом огледу може се запазити да ексерихи са бакарне шипке падају брже. То показује да различити материјали не проводе топлоту подједнако.



Слика 2. Топлотна проводљивост код две металне шипке од бакра и гвожђа.

Топлотни проводници и топлотни изолатори

Материјали се знатно разликују по томе колико добро проводе топлоту.

Топлотни проводници су материјали који проводе топлоту. Најбољи проводници су метали: сребро, бакар, алуминијум и челик. Зато се неки од њих користе за израду посуда за кување, радијатора и измењивача топлоте.

Топлотни изолатори су материјали који слабо проводе топлоту. Материјали као што су дрво, пластика и гума имају веома слабу топлотну проводљивост, па се зато користе као изолатори. Такође, ваздух и гасови су добри топлотни изолатори, јер између честица постоји велико међучестично растојање, па се оне ретко сударају. Материјали као што су вуна, перје и стиропор задржавају ваздух у малим порама и служе за топлотну изолацију. Зато се дршке посуда за кување праве од пластике или дрвета, а зимске јакне су испуњене перјем.

Топлотни изолатори и климатске промене

Једни од највећих потрошача енергије у домаћинствима су грејна тела. Када објекти немају добру топлотну изолацију, губици топлоте су велики, што доводи до повећане потрошње електричне енергије или фосилних горива. То не само да повећава потрошњу, већ повећава и емисију угљен-диоксида – гаса који доприноси глобалном загревању.

Због тога се употреба квалитетних топлотних изолатора сматра једном од значајних мера за ублажавање климатских промена. Постављање стиропора са спољашње стране кућа, као и прозора са двоструким стаклом раздвојеним слојем ваздуха, само су неки од начина да се смање губици топлоте. Енергетски ефикасне куће не само да троше мање енергије, већ имају и бољу унутрашњу микроклиму, што непосредно утиче на здравље и удобност људи.


ЗАНИМЉИВОСТИ

Сребро је метал који је најбољи топлотни проводник, али се ретко користи због своје високе цене.


АКТИВНОСТ
1. Комад леда на различитим материјалима

Стави комад леда на плочицу од метала (бабра или гвозђа), дрвета, пластике, стакла и стиропора. Комади леда треба да буду приближно истог облика и величине. Посматрај како се комади леда топе. Који се комад леда први отопио, а који последњи? На основу добијених резултата класификуј материјале на топлотне проводнике и топлотне изолаторе.

ЗА 5+

Количина топлоте која ће се кондукцијом пренети кроз материјал дебљине d може се описати следећом формулом: $Q = k \cdot S \cdot \frac{\Delta T}{d} \cdot t$, где је Q топлотна енергија која је прошла кроз материјал за време t , S је површина кроз коју се топлота преноси, ΔT је разлика температура са две стране материјала, а k се назива коефицијент топлотне проводљивости материјала. Коефицијент топлотне проводљивости различит је за различите материјале. Што је његова вредност већа, то је материјал бољи топлотни проводник.


ПОЗНАТИ НАУЧНИК
Жан-Батист Жозеф Фурије (Jean-Baptiste Joseph Fourier 1768–1830)


Фурије је био француски математичар и физичар који је проучавао топлотну проводљивост. Још као млад показао је велико интересовање за физику и математику. Године 1822. објавио је књигу Аналитичка теорија топлоте, у којој је формулисао Закон о топлотној проводљивости, којим је објаснио како се топлота преноси кроз различите материјале. Фурије је први објаснио и ефекат стаклене баште на Земљи.


ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта представља кондукција и како се топлота преноси код чврстих тела?
2. У једној руци држиш комад дрвета, а у другој комад метала. Ако су се оба тела претходно налазила у истој просторији (на истој температури), зашто ти се чини да је комад метала хладнији?
3. Зими људи носе вишеслојну одећу. Који процес преноса топлоте је овим поступком смањен и зашто је ваздух између слојева толико важан?
4. Метална шипка загрејана је на једном крају до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. После неколико минута, други крај достиже $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Како се одвија пренос топлотне енергије кроз шипку?
5. Како двоструко стакло на прозорима смањује кондукцију и повећава енергетску ефикасност ефикасност?


ЗАПАМТИ

- Кондукција (топлотна проводљивост) је процес преноса топлоте са једног места на друго у телу или са једног тела на друго, ако су тела у контакту.
- При кондукцији се преноси енергија, али не и супстанца.
- Топлотни проводници омогућавају пренос топлотне енергије, а топлотни изолатори спречавају пренос топлоте.

2.11. ПРЕНОС ТОПЛОТЕ КОНВЕКЦИЈОМ (СТРУЈАЊЕМ) И РАДИЈАЦИЈОМ (ЗРАЧЕЊЕМ)

ПОЈМОВИ

струјање / конвекција

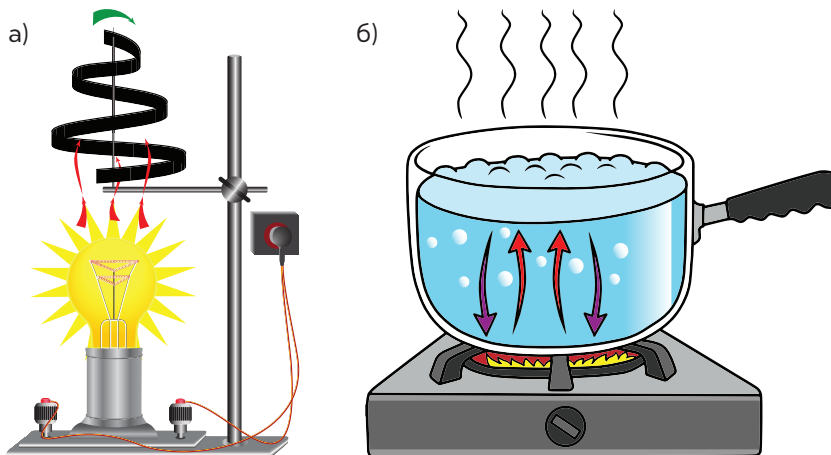
зрачење/радијација

апсорпција

Топлота се са једног тела на друго може преносити на више начина, у зависности од тога да ли честице у супстанци могу да се крећу или не, и да ли између тела постоји материјална средина. Код чврстих материјала топлота се најчешће преноси топлотном проводљивошћу. Међутим, код течности и гасова, где честице могу да се крећу, пренос топлотне енергије најчешће се одвија струјањем, односно конвекцијом. Осим ова два начина, постоји и трећи начин преноса топлоте, а то је зрачење, односно радијација. Топлотна енергија зрачењем може се преносити и кроз вакуум. Разумевање ова два процеса важно је за објашњавање природних појава, климе, као и за разумевање савремене технолошке опреме.

Конвекција (струјање)

Када се неки део гаса или течности загреје, честице у том делу добијају већу кинетичку енергију, почињу брже да се крећу и удаљавају се једна од друге. Због повећања запремине, густина загрејаног дела течности или гаса се смањује, па се он подиже нагоре. На његово место долази хладнија, гушћа течност (или гас), која се затим загрева и наставља да се креће нагоре. Тако настаје кружно кретање гаса или течности. Струјање, односно конвекција, јесте процес преноса топлоте померањем честица супстанце са једног места на друго.

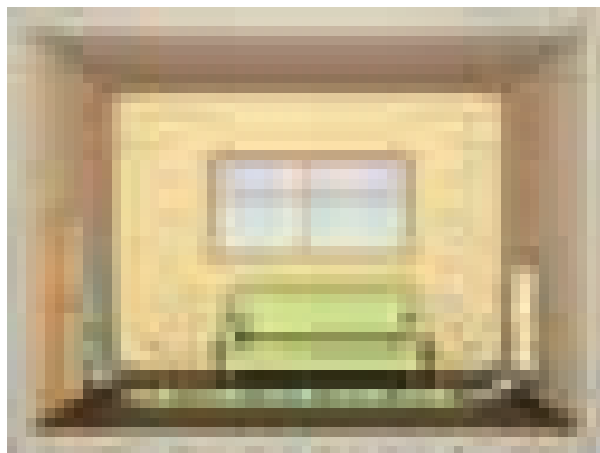


Слика 1. Конвекција топлоте: а) у ваздуху; б) у води.

Овај процес можемо свакодневно посматрати. Ако руку приближимо изнад пламена свеће, одмах ћемо осетити топле струје ваздуха које се подижу нагоре. Ако изнад електричне сијалице поставимо лагану папирну спиралу, она ће почети да се окреће, јер се топао ваздух креће нагоре и покреће папир.

Слично се одвија и пренос топлоте у посуди са водом. Када загревамо посуду са доње стране, топла вода се креће нагоре, а хладна се спушта надолу, стварајући јасно видљиве струје ако се у воду дода мало боје или ако се у њу ставе дрвене струготине.

Конвекција има огроман значај и у природи. Ветар је резултат струјања огромне масе ваздуха. Топли слојеви ваздуха подижу се нагоре, а хладни се спуштају ка површини Земље. У морима и океанима постоје конвективне струје које преносе топлоту и омогућавају биолошку равнотежу. Најпознатији пример конвективног кретања је Голфска струја, која представља кретање топле воде дуж обале Западне Европе, чинећи климу у тим областима много топлијом и повољнијом за живот. У домаћинствима централно грејање функционише помоћу конвекције: радијатори загревају околину тако што се топао ваздух подиже нагоре, а хладан се спушта и поново загрева.



Слика 2. Конвекција топлотне енергије у дому.



Слика 3. Ако се течност загрева у горњем делу епрувете, топлотна енергија неће се пренети ка дну епрувете.

Важно је разумети да се конвекција може јавити само код течности и гасова, јер се код њих честице могу транслаторно кретати. Ако се течности или гасови загревају одозго, тада загрејани горњи слојеви остају горе због своје мање густине, док хладни слојеви остају доле и не могу да се подигну. При таквом загревању топлота се не преноси равномерно, па зато течности и гасове увек треба загревати одоздо како би се омогућило струјање.



АКТИВНОСТИ

1. Конвекција код течности

У шири провидни суд сипај воду собне температуре. На један крај суда постави пластичну флашу са топлем водом, а на супротан крај пластичну флашу са ледом. У близини флаше са топлем водом капни неколико капи црвене прехранбене боје. У близини флаше са ледом капни неколико капи плаве прехранбене боје. Посматрај кретање боја. Како се креће црвена, а како плава боја? Шта можеш да закључиш о густини топле и хладне воде?

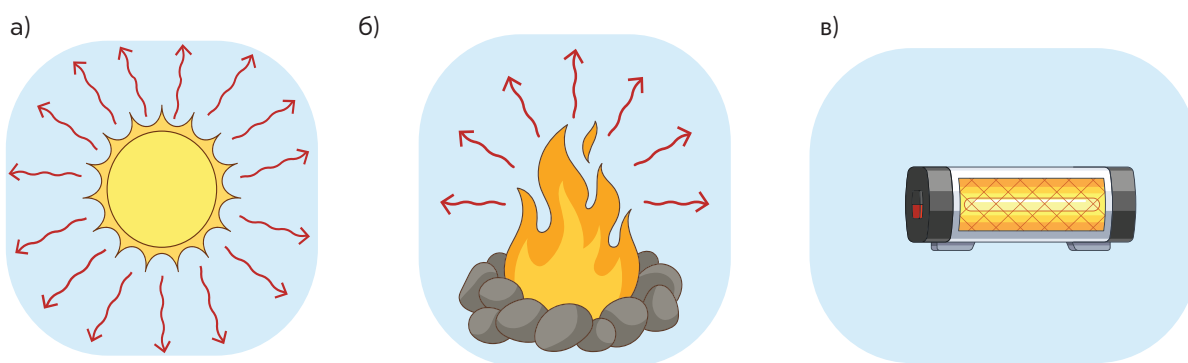
2. Конвекција код гасова

На растојању од око 40 cm постави две посуде, од којих једна садржи лед, а друга врелу воду. Наставник нека запали мирисне штапиће како би створио дим. Приближи мирисне штапиће посудама, али их не додируј. Како се дим креће када је штапић у близини посуде са врелом водом, а како када је у близини посуде са ледом? Шта можеш да закључиш о густини ваздуха у близини посуде са врелом водом и у близини посуде са ледом?

Радијација (зрачење)

Постоје ситуације у којима се топлота преноси иако између тела нема ваздуха, друге средине или тела нису у међусобном контакту. То је могуће захваљујући зрачењу, односно радијацији, процесу при коме се топлота преноси топлотним зрацима. Пренос дела унутрашње енергије са једног тела на друго помоћу топлотних зрака назива се зрачење. Зрачење се може одвијати и у вакууму. На пример, Сунце загрева Земљу зрачењем.

Зрачење се лако може осетити и у свакодневном животу. Када стојимо поред логорске ватре или термоакумулационе пећи, топлота допире до нас, иако ваздух између нас и извора није загрејан и представља лош топлотни проводник.



Слика 4. Пренос топлоте зрачењем: а) са Сунца
б) од логорске ватре; в) од грејалице.

Сва загрејана тела емитују топлотне зраке, као што су Сунце, електрична сијалица, пећ, па чак и наше тело. Што је температура неког тела већа, то је већа и количина светлости и топлоте коју оно зрачи. Површина тела такође има велику улогу у процесу зрачења. Тамне и хrapаве површине апсорбују топлотну енергију много брже од светлих и глатких. Зато се резервоари за гориво фарбају светлим бојама како би апсорбовали мање топлоте, а људи лети носе светлу одећу да би избегли прегревање.

Зрачење је корисно и када желимо да задржимо топлоту. Термос има двоструке зидове, а између њих се налази разређен ваздух како би се спречила топлотна проводљивост, док је унутрашња површина огледалска, што смањује апсорпцију топлотних зрака. Тако се спречава губитак топлоте и течности дуго остају топле.

Термалне камере су уређаји који омогућавају да „видимо“ топлоту, односно топлотно зрачење које емитују тела. Користе се у медицини, грађевинарству и безбедности. Свако тело емитује топлотно зрачење.



Слика 5. Слика добијена термалном камером.

Термална камера региструје те зраке и претвара их у термалну слику са различитим бојама у зависности од температуре. Топли делови приказују се црвеном/жутом бојом, а хладни плавом/љубичастом (Слика 5).



АКТИВНОСТИ

3. Утицај боје на загревање

Напуни водом две исте лименке. Обложи једну лименку белим папиром, а другу црним папиром. Постави лименке на сунчано место или их осветли лампом. Измери температуру воде у обе лименке на почетку. На сваких 5 минута измери температуру у обе лименке. Изврши пет мерења. Графички прикажи зависност температуре од времена за белу и за црну лименку. Шта можеш да закључиш? Која се лименка брже загрева?

4. Мерење температуре код различитих материјала

Истовремено, на сунчевој светлости или под светлошћу електричне лампе, изложи комаде асфалта, бетона, песка, траве, земље, стакла, лима и слично. У истим временским интервалима измери температуру сваког материјала. Исте материјале стави у хлад и поново измери њихову температуру. Добијене вредности прикажи табеларно и графички. Анализирај резултате и повежи топлотна својства различитих грађевинских материјала са њиховим утицајем на глобално загревање и климатске промене.

ЗА 5+

Када топло тело зрачи енергију, та енергија се шири у свим правцима и распоређује на све већу површину како се удаљавамо од извора. Што се посматрач или друго тело налази даље, то ће до њега стићи мањи део укупне емитоване енергије. Зато се интензитет зрачења, који представља топлотну енергију коју једно тело прими по јединици своје површине у јединици времена, смањује сразмерно реципрочној вредности квадрата растојања. Математички, зависност између интензитета зрачења I и растојања од извора r описује се формулом:

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2}$$

где је P укупна емитована енергија у једној секунди (снага) тела, а $\pi = 3,14$. Из ове формуле може се видети да ако растојање од извора повећамо два пута, интензитет постаје четири пута мањи.



ЗАНИМЛИВОСТИ

Тамне пешчане пустиње током дана могу да се загреју и на више од 70 °C, док се током ноћи температура може снижити и до 10 °C.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Јозеф Стефан (Josef Stefan 1835–1893)

Словеначки физичар Јозеф Стефан један је од оснивача савремене теорије топлотног зрачења. Он је експериментално утврдио да је снага зрачења коју емитује загрејано тело са јединице површине сразмерна четвртој степену његове апсолутне температуре. Ово откриће данас је познато као Стефан–Болцманов закон, јер је значајан допринос објашњењу топлотног зрачења дао и аустријски научник Лудвиг Болцман. Стефан је својим радом допринео разумевању природе топлотних зрака и улоге површине и температуре тела при зрачењу. Његова истраживања представљају основу за развој термоса, топлотне изолације, као и топлотних и климатских модела. Користе се и данас за прорачун зрачења звезда, укључујући и Сунце



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Зашто се конвекција не може јавити код гвоздене шипке, а може код воде?
2. Зашто је ваздух у соби топлији ближе плафону, а хладнији ближе поду?
3. У пустињи температура ваздуха током дана достиже 45°C , а увече пада испод 10°C . Објасни како зрачење и конвекција утичу на ове екстремне температурне разлике.
4. Зашто радијатор брзо загрева ваздух у просторији, иако је ваздух слаб проводник топлоте?
5. Опиши начине преноса топлотне енергије у ситуацији приказаној на слици.



ЗАПАМТИ

- Струјање или конвекција је процес преноса топлоте премештањем честица супстанце са једног места на друго.
- Пренос топлоте струјањем јавља се код течности и код гасова.
- Пренос топлотне енергије са једног тела на друго помоћу топлотних зрака назива се зрачење.
- Зрачење топлотних зрака зависи од температуре тела и својстава његове површине.

2.12. СПЕЦИФИЧНИ ТОПЛОТНИ КАПАЦИТЕТ

ПОЈМОВИ

специфичен топлотни
капацитет (c)

Свако тело може да повећа или да смањи своју температуру примањем или предавањем топлоте. Међутим, тела начињена од различитих супстанци не загревају се истом брзином. Ако се иста количина топлоте доведе на два тела која имају исту почетну температуру, она ће се загрејати на различите температуре. На пример, лети, на плажи, можемо приметити разлику у температури између песка и воде. Иако песак и вода у језеру од јутра загревају Сунчеви зраци, песак је много топлији од воде. Разлог за то је што вода има велики специфични топлотни капацитет, а песак мали.

Специфични топлотни капацитет је физичка величина која показује колико је топлоте потребно да би се температура 1 kg неке супстанце променила за 1 °C. На пример, да би се температура 1 kg воде повећала за 1 °C, потребно је 4190 J топлоте, док је за 1 kg гвожђа за исту промену температуре потребно само 450 J. Ако се вода, односно гвожђе, охладе за 1 °C, тада ће предати исто онолико енергије колико су примили приликом загревања. Основна јединица мере за специфични топлотни капацитет

је $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ или $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ (подсетите се да је температурна разлика од 1 K једнака температурној разлици од 1 °C).

Велики специфични топлотни капацитет воде има огроман утицај на климу. Океани, мора и језера, захваљујући свом великом топлотном капацитету, смањују разлику између дневне и ноћне температуре копна у својој близини. У свакодневном животу запажамо да се металне посуде брзо загревају, али је води у њима потребно много више времена да прокључа, што је још један доказ да потребна количина топлоте зависи и од врсте супстанце. У табели испод дате су вредности специфичних топлотних капацитета неких супстанци. Запажамо да вода, захваљујући свом великом специфичном топлотном капацитету, има изузетно велику способност да складишти топлоту у виду унутрашње енергије, док гвожђе има веома малу способност за то.

Супстанца	Специфични топлотни капацитет c изражен у $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
Вода	4190
Уље	2000
Гвожђе	450
Алуминијум	900
Бетон	800

Табела 1. Специфични топлотни капацитети неких супстанци.

Потребна топлота Q за загревање једног тела (или супстанце) зависи од његове масе, од тога за колико желимо да повећамо његову температуру и од тога од које је супстанце направљено. То је дато формулом:

$$Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) ,$$

где је m маса тела, c специфични топлотни капацитет супстанце од које је тело направљено, t_1 почетна температура тела, а t_2 температура на коју ће се тело загрејати. Исту количину топлоте тело треба да преда да би се охладило са температуре t_2 на температуру t_1 . Формула се може записати и у следећем облику:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t,$$

где је Δt промена температуре тела: $\Delta t = t_2 - t_1$.

У експерименталним условима ова формула се лако може проверити. Ако на електричној рингли истовремено загревамо 250 g воде и 500 g воде у истим посудама, приметимо да се вода веће масе загрева спорије, односно да њена температура спорије расте. Према формули, да би достигла исту температуру, вода веће масе мора да прими већу количину топлотне енергије.

Ако, измеримо време потребно да се вода загреје од собне температуре до 50 °C и од 50 °C до 100 °C, видећемо да је потребно више времена да се вода загреје за другу температурну разлику. То потврђује да количина топлотне енергије коју треба довести зависи и од величине промене температуре.

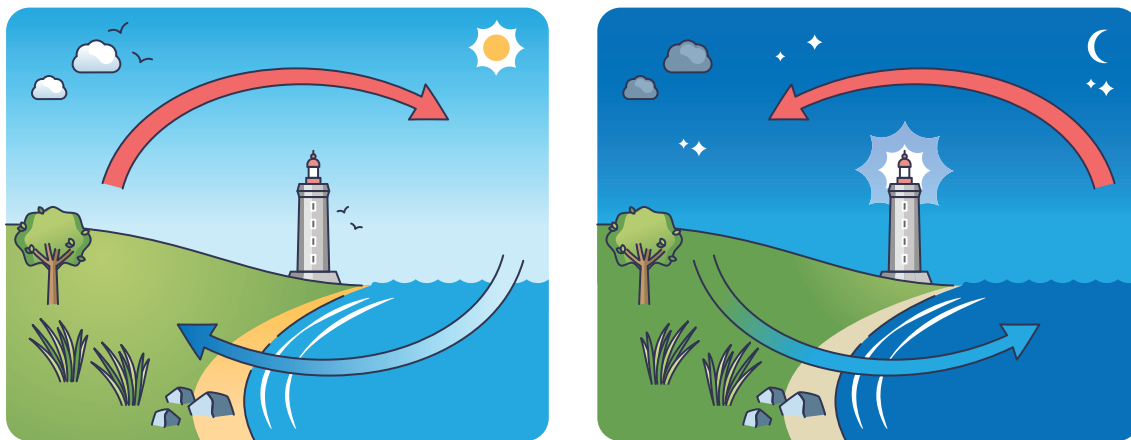
Ако на електричну ринглу поставимо две посуде са истом масом воде и уља, које су биле на собној температури, и непрекидно меримо температуру, приметимо да се уље загрева много брже од воде. То нас доводи до закључка да промена температуре зависи и од врсте супстанце. Иста маса воде и уља прима исту количину топлоте, али уље брже достиже вишу температуру јер има мањи специфични топлотни капацитет.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

Израчунај колика топлотна енергија треба да се доведе води масе 250 g да би се загрејала са собне температуре од 20 °C на 90 °C. Специфични топлотни капацитет воде узми из табеле на претходној страници.

Дато:	Количина топлоте коју треба довести води је: $Q = m \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 0,25 \text{ kg} \cdot 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot (90 ^\circ \text{C} - 20 ^\circ \text{C}) = 73325 \text{ J}.$
$m = 250 \text{ g} = 0,25 \text{ kg}$	
$t_1 = 20 ^\circ \text{C}$	
$t_2 = 90 ^\circ \text{C}$	
$c = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ \text{C}}$	
Тражи се:	
$Q - ?$	



Слика 1. Струјање ваздуха са копна ка мору и обратно током дана и ноћи.

Брзина загревања супстанци има важну улогу у природи. Пример за то је струјање ваздуха у близини морске обале, које настаје због разлике у загревању и хлађењу копна и мора. Пошто се копно током дана загрева брже од воде, ваздух изнад копна се подиже, а хладнији ваздух са мора дува ка копну. Ноћу се дешава супротно. Пошто се вода у мору спорије хлади, ваздух изнад мора се подиже, а хладан ваздух са копна креће се ка мору, односно хладан ветар дува ка мору. Оваква појава може се запазити и у близини језера. Захваљујући свом великом специфичном топлотном капацитету, вода има важну улогу у регулисању климе. Струјање ваздуха је непосредна последица неравномерног загревања и хлађења копна и мора.

Значај специфичног топлотног капацитета је огроман у техници, енергетици и свакодневном животу. У домаћинству је познато да се уље загрева брже од воде, па зато треба бити опрезан приликом кувања. У индустрији системи за хлађење морају бити прецизно пројектовани према топлотном капацитету течности које се користе. У енергетици се врше детаљни прорачуни о томе колика је топлотна енергија потребна да би се повећала температура великих количина воде у термоелектранама или индустријским постројењима.



АКТИВНОСТИ

1. Брзина загревања супстанце зависи од њене масе.

Загревај две масе воде (250 g и 500 g) у истим посудама на електричној рингли. На свака два минута читај температуру воде у посудама. Резултате унеси у табелу. Изврши пет мерења и нацртај график зависности температуре воде од времена загревања. Шта можеш да закључиш на основу добијених резултата?

2. Загревање различитих супстанци

Загревај једнаку масу воде и уља у истим посудама на електричној рингли. На свака два минута читај температуру воде и уља. Резултате унеси у табелу. Изврши пет мерења и нацртај график зависности температуре воде и уља од времена загревања. Шта можеш да закључиш на основу добијених резултата? Да ли је график идентичан оном из прве активности или постоје неке разлике? Постави хипотезу зашто се добијени резултати разликују.

ЗА 5+

Често се за различита тела дефинише и топлотни капацитет тела, који показује колика је количина топлоте потребна да би се загрејало цело тело. Према томе, топлотни капацитет датог тела једнак је производу специфичног топлотног капацитета супстанце c , од које је тело изграђено, и његове масе, односно: $C = c \cdot m$. Потребна топлота за загревање тела за температурну разлику Δt , када је дат топлотни капацитет, израчунава се по формули:

$$Q = C \cdot \Delta t.$$

Топлотни капацитет неког тела показује колику топлотну енергију то тело треба да прими или преда да би се његова температура променила за 1°C .



ЗАНИМЉИВОСТИ

Највећи специфични топлотни капацитет има водоник (H_2), па је зато један од најбољих топлотних изолатора. Специфични топлотни капацитет водоника износи $14300 \text{ J}/(\text{kg K})$.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Џозеф Блек (Joseph Black, 1728–1799)

Џозеф Блек био је шкотско-ирски лекар и хемичар који је први увео појам специфичног топлотног капацитета. Дошао је до закључка да је различитим супстанцама потребно довести различиту количину топлотне енергије да би се постигла иста промена температуре. Његови експерименти показали су да вода има изузетно велики специфични топлотни капацитет, што је касније постало основа за разумевање климатских процеса и система за грејање.

Блек је такође открио и појам латентне топлоте, описујући да приликом топљења или испаравања супстанца може да прими велике количине топлоте, а да јој се температура при томе не мења.

Ова открића имала су огроман утицај на развој машинства, медицине и индустрије.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта представља специфични топлотни капацитет?
2. Од којих величина зависи количина топлоте коју једно тело прими или преда при одговарајућој промени своје температуре?
3. Колико је топлоте потребно да 1 kg воде повећа своју температуру за 5°C ?
4. Гвоздена коцка масе 2 kg загрева се са 20°C на 80°C . Израчунај примљену топлоту.
5. Метални блок масе $0,5 \text{ kg}$ има специфични топлотни капацитет $c = 500 \text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$. За колико ће се променити његова температура ако апсорбује 5000 J топлоте?



ЗАПАМТИ

- Специфични топлотни капацитет је физичка величина која показује колико је топлоте потребно да се температура 1 kg неке супстанце промени за 1°C .
- Потребна топлотна енергија за загревање једног тела зависи од масе тела m , промене температуре Δt и специфичног топлотног капацитета супстанце од које је тело направљено. Израчунава се по формули: $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$.

2.13. ТОПЛОТНА РАВНОТЕЖА. ЗАКОН О ОДРЖАЊУ ЕНЕРГИЈЕ

ПОЈМОВИ

калориметар

Када се два тела различите температуре доведу у контакт, почиње пренос топлоте са тела више температуре на тело ниже температуре све док се њихове температуре не изједначе. Ово стање, у коме више нема преноса топлотне енергије између тела, назива се **топлотна равнотежа**. Температура коју тела имају у тренутку изједначавања назива се **температура топлотне равнотеже**.

Процес изједначавања температуре одвија се у складу са **Законом о одржању енергије**, који гласи: Количина топлоте коју преда топлије тело једнака је количини топлоте коју прими хладније тело, односно:

$$Q_1 = Q_2 ,$$

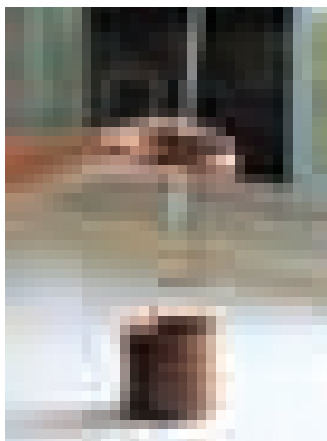
где је Q_1 топлота коју предаје топлије тело, а Q_2 топлота коју прима хладније тело.

Имаме тело масе m_1 које је загрејано на температуру t_1 и има специфични топлотни капацитет c_1 . То тело предаје топлотну енергију другом телу масе m_2 , које је на температури t_2 , при чему је $t_2 < t_1$ и има специфични топлотни капацитет c_2 . Сматраћемо да се енергија преноси само са првог на друго тело и да нема губитка топлотне енергије у околину. Након успостављања топлотне равнотеже, оба тела ће имати температуру t , при чему је $(t_2 < t < t_1)$, коју можемо одредити применом Закона о одржању енергије. Ако је топлота коју предаје прво тело: $Q_1 = m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t)$, а топлота коју прима друго тело: $Q_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)$, можемо записати:

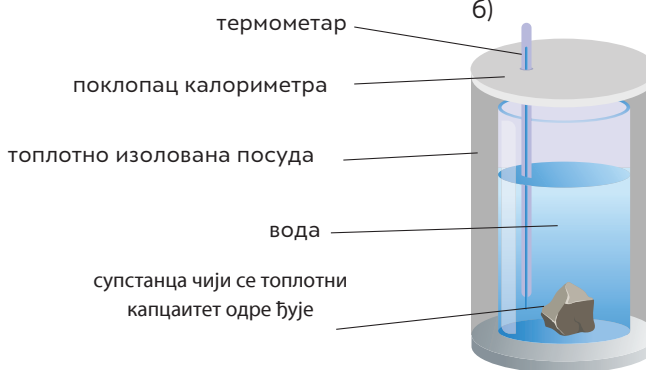
$$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2) .$$

Процеси предавања топлоте, примања топлоте и изједначавања температуре могу се пратити и експериментално помоћу калориметра. То је изолована посуда намењена мерењу топлотних разлика без губитка енергије у околину. У калориметру се мешају супстанце (течности или течност и чврста супстанца) различитих температура, при чему измерена температура топлотне равнотеже омогућава да се израчуна топлота, маса или специфични топлотни капацитет неке од супстанци.

а)



б)



Слика 1. а) Калориметар са мешалицом; б) Одређивање топлотног капацитета чврстог тела помоћу калориметра.

При раду са калориметром, у њега се поставља термометар како би се пратила промена температуре течности, а калориметри обично имају и мешалицу како би се постигла равномерна расподела топлоте у течности (Слика 1).



РЕШЕНИ ПРИМЕР

У калориметру се налази 0,25 kg воде на температури од 20 °C. У калориметар се уноси метална куглица масе 0,15 kg, температуре 70 °C. Температура топлотне равнотеже износила је 23 °C. Израчунај специфични топлотни капацитет метала од кога је направљена куглица.

Специфични топлотни капацитет воде износи

$$4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

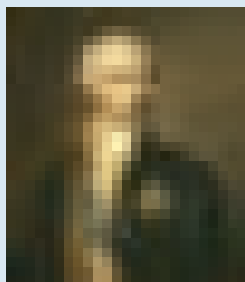
Дато:	Пошто је куглица на вишој температури од воде, она предаје топлоту, а вода прима ту топлоту. Примењујући Закон о одржању енергије, имамо:
$m_1 = 0,15 \text{ kg}$	$Q_1 = Q_2,$
$m_2 = 0,25 \text{ kg}$	$m_1 \cdot c_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2),$
$t_1 = 70 ^\circ\text{C}$	$c_1 = \frac{m_2 \cdot c_2 \cdot (t - t_2)}{m_1 \cdot (t_1 - t)},$
$t_2 = 20 ^\circ\text{C}$	
$t = 23 ^\circ\text{C}$	
$c_2 = 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$	
Тражи се:	$c_1 = \frac{0,25 \text{ kg} \cdot 4190 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (23 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C})}{0,15 \text{ kg} \cdot (70 ^\circ\text{C} - 23 ^\circ\text{C})} = 446 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}.$
$c_1 - ?$	

Топлотна равнотежа је процес који се непрестано одвија око нас. Када се чаша са топлем водом остави на столу, она предаје топлоту околном ваздуху све док се њена температура не изједначи са температуром просторије, при чему ће се ваздух незнатно загрејати. Тела непрестано размењују топлоту са околином све до успостављања топлотне равнотеже.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Пјер-Симон Лаплас (Pierre-Simon Laplace, 1749–1827)



Пјер-Симон Лаплас био је француски математичар и физичар, познат по огромном доприносу механици, астрономији и термодинамици. Заједно са Антоаном Лавоазијеом, развио је први ледени калориметар, уређај који је мерио топлоту коју тело ослобађа током хемијских реакција преко количине отопљеног леда. Овај уређај представља почетак модерне калориметрије. Лаплас је први показао да се топлота може мерити. Такође је радио на математичком формулисању топлотних процеса, оставивши трајан траг у развоју науке.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Лед додат у чашу са соком прима велику количину топлоте док се топи, а његова температура остаје приближно 0 °C.

ЗА 5+

Када тело прелази из чврстог у течно агрегатно стање (топљење) или из течног у гасовито агрегатно стање (испаравање), његова температура може остати непромењена, иако се тело загрева, односно иако му се непрекидно доводи топлота. Енергија која се троши на раскидање веза између честица, а не на повећање температуре, назива се латентна топлота или скривена топлота. Латентна топлота топљења је количина енергије потребна да се истопа јединица масе супстанце без промене температуре. Латентна топлота испаравања је још већа, јер је потребно потпуно ослободити честице из течности како би прешле у гасовито стање.

Латентна топлота топљења или испаравања може се израчунати формулом:

$$Q = m\lambda,$$

где је Q топлота коју тело прими при топљењу или испаравању, m маса супстанце, а λ специфична латентна топлота топљења или испаравања, изражена у J/kg .

Латентна топлота топљења леда износи 334000 J/kg , а латентна топлота испаравања воде износи 2260000 J/kg .


АКТИВНОСТ
1. Израда калориметра и одређивање специфичног топлотног капацитета тела или течности

Да би направио једноставан калориметар, узми две тегле различите величине тако да мања може да стане у већу. Простор између две тегле испуни изолационим материјалом, као што су стиропор, памук или тканина, како би се смањио губитак топлоте. На поклопцима тегли направи мале отворе кроз које ћеш моћи да провучеш термометар ради мерења температуре. У унутрашњу теглу сипај воду познате масе, чију ћеш температуру измерити термометром. Затим у калориметар стави топао или хладан предмет (металну коцку) познате масе, чију ћеш температуру такође измерити пре него што га ставиш у калориметар. Поклопци обе тегле треба да буду затворени током мерења. Измери температуру топлотне равнотеже и израчунај специфични топлотни капацитет тела. Специфични топлотни капацитет воде је познат.


ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта представља топлотна равнотежа?
2. Како се преноси топлота између два тела различите температуре?
3. Како гласи Закон о одржању енергије у процесу успостављања топлотне равнотеже?
4. У калориметру се налази 200 g воде на температури од 80°C , у коју се додаје 100 g воде на температури од 20°C . Израчунај температуру топлотне равнотеже. Притом претпостави да нема губитка топлоте у околину.
5. Ако се непознат метал масе 120 g , загрејан на 100°C , стави у 200 g воде на 20°C , а температура топлотне равнотеже износи 24°C , израчунај специфични топлотни капацитет метала. Притом сматрај да нема губитка топлоте у околину.


ЗАПАМТИ

- Када се два тела загрејана на различите температуре доведу у контакт, топлота се преноси са топлијег на хладније тело, односно са тела више температуре на тело ниже температуре.
- Пренос топлотне енергије траје све док оба тела не успоставе топлотну равнотежу.
- Количина топлоте коју предаје топлије тело једнака је количини топлоте коју прима хладније тело, ако нема губитака топлоте у околину.

ТЕМА 2.

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂИВАЊЕ

1. Наведи три супстанце изграђене од атома и три изграђене од молекула.
2. Ако две супстанце имају једнаку масу, а различиту густину, шта се може рећи о њиховој запремини? Објасни помоћу честичног модела.
3. Зашто се гасови могу компримовати, а течности и чврста тела не могу?
4. Објасни како се мирис хране брзо шири кроз кухињу.
5. Зашто мед тече „спорије“ од воде? Како је то повезано са међумолекулским силама?
6. Како се мењају распоред и кретање честица када чврсто тело прелази у течно агрегатно стање?
7. Једна супстанца се топи на тачно одређеној температури, док друга омекшава са порастом температуре и истовремено може бити и у течном и у чврстом агрегатном стању. Шта се може закључити о унутрашњој структури тих материјала?
8. Објасни зашто температура у $^{\circ}\text{C}$ може бити негативна, а у K не може.
9. У лабораторији је температура повећана са 298 K на 308 K .
 - а) За колико K је повећана температура?
 - б) Колико износи то повећање у $^{\circ}\text{C}$?
10. У експерименту се прати хлађење воде са $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Измерено је да вода губи $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ сваких 10 минута. Нацртај график зависности температуре воде од времена. Шта представља нагиб графика?
11. Тачка топљења живе износи $234,32\text{ K}$, а тачка кључања $629,85\text{ K}$. У ком се агрегатном стању налази жива на температури од $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$, а у ком на $370\text{ }^{\circ}\text{C}$?
12. Зашто стаклене флаше могу пући ако се напуне врелом водом?
13. Дужина бакарне жице се загревањем повећала са $50,00\text{ cm}$ на $50,06\text{ cm}$. Колика је промена дужине?
14. Челични цилиндар масе 2 kg и запремине $0,00025\text{ m}^3$ загрева се, при чему му се запремина повећа за $0,2\%$.
 - а) Колика је запремина цилиндра после загревања?
 - б) Како се мења густина цилиндра при загревању?
15. Зашто се различите течности не шире једнако при истој промени температуре?
16. Како се топлотно ширење течности користи у течним термометрима?
17. Посуда садржи 1 L воде на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Колика ће бити запремина воде ако се после загревања повећа за $0,2\%$?
18. У цилиндру се налази ваздух запремине $1,2\text{ L}$ на температури 300 K . Температура гаса повећава се на 450 K при сталном притиску.
 - а) Израчунај нову запремину.
 - б) Израчунај колико се пута променила густина ваздуха.
19. Притисак у аутомобилској гуми износи 220 kPa при температури од $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. После вожње температура ваздуха у гуми повећала се на $75\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - а) Колики ће бити притисак?
 - б) Да ли је безбедно возити ако гума може да издржи максималан притисак од 300 kPa ?
20. Гас има почетни притисак од 100 kPa и запремину од 3 L . Колика ће бити запремина ако се притисак повећа на 150 kPa при сталној температури?

21. У цилиндру са клипом налази се 500 cm^3 гаса под притиском од 80 kPa . Клип се помера тако да запремина постане 125 cm^3 . Колики ће бити притисак гаса?
22. На ком од графика испод приказан је процес при коме се запремина гаса не мења?



23. Зашто нам је хладније када је мајица коју носимо влажна?
24. Два тела имају исту температуру. Да ли та тела имају исту унутрашњу енергију?
25. За испаравање 1 g воде потребно је 2260 J енергије. Израчунај смањење унутрашње енергије ученика са чије је коже испарило 2 g воде.
26. Зашто је лети боље носити светлу одећу, а зими тамну?
27. У две мале флаше сипа се иста количина воде температуре 50°C . Прва флаша обавија се алуминијумском фолијом, а друга вуненом тканином. После 15 минута температура воде у првој флаши смањила се за 15°C , а у другој за 5°C . Који је материјал бољи топлотни изолатор и зашто?
28. У просторији висине 3 m температура ваздуха при поду износи 22°C , а испод плафона 27°C . Како конвекција ствара такву расподелу температуре? Шта ће се променити ако се радијатори којима се загрева просторија поставе више?
29. Да ли се у вакууму топлота може преносити конвекцијом?
30. У стакленику је измерена температура од 25°C , док је температура изван стакленика била 4°C . Објасни како радијација и конвекција заједно стварају ову разлику. Зашто топлота „остаје заробљена“ унутар стакленика?
31. Израчунај топлотну енергију коју ће примити коцка леда стране 5 cm ако јој се температура повећа са -20°C на -5°C . Густина леда износи 990 kg/m^3 , а специфични топлотни капацитет леда $2100 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$.
32. Метално тело масе $0,5 \text{ kg}$ хлади се са 150°C на 50°C . Специфични топлотни капацитет супстанце од које је тело направљено износи $380 \text{ J/(kg}\cdot^\circ\text{C)}$.
 - а) Колико је топлоте тело изгубило?
 - б) За колико му се смањила унутрашња енергија?
33. Које тело складишти више топлоте: 1 kg воде или 1 kg гвожђа, загрејани на исту температуру?
34. Зашто је клима у приобалним областима блажа него у унутрашњости континената?
35. Истраживач загрева $0,2 \text{ kg}$ течности А и $0,2 \text{ kg}$ течности Б истом електричном плочом. После 3 минута температура течности А повећала се за 18°C , а температура течности Б за 9°C . Која течност има већи специфични топлотни капацитет и колико пута је већи?
36. У 300 g воде температуре 25°C ставља се метални предмет масе 150 g на температури 100°C . После извесног времена успоставља се температура топлотне равнотеже од 32°C . Израчунај специфични топлотни капацитет метала ако је познат специфични топлотни капацитет воде.

Тема 3:

ЕЛЕКТРИЦИТЕТ И МАГНЕТИЗАМ

У овој теми ћеш научити како се тела наелектришу и како међусобно делују преко електричног поља. Схватићеш да електрична струја није само „жица која светли“, већ кретање честица које се може јавити у неким чврстим телима, течностима и гасовима, и научићеш да је препознајеш на основу њених ефеката – светлосног, топлотног и магнетног. Знаћеш да одредиш смер струје у струјном колу и објаснићеш како настаје и тече.

Стећи ћеш знање о томе како да се заштитиш од струјног удара, будући да физика брине и о нашој безбедности. Упознаћеш својства магнета, њихове полове и узајамна дејства са магнетним пољем, и открићеш да су магнетне силе подједнако реалне и важне као електростатичке.

Научићеш да повезујеш електричне и магнетне појаве и да правиш поређења између њих, откривајући да су оне део једне велике приче, електромагнетизма, који је основа савремене технологије. Од компаса који показује север, до мотора који покрећу свет, схватићеш да су ове невидљиве силе увек око нас и стално обликују нашу свакодневицу.

Резултати учења

Ученик/ученица ће бити способан/способна:

- да објашњава промене при наелектрисању тела и њихово узајамно дејство преко електричног поља;
- да идентификује протицање електричне струје код: метала, течности и гасова преко њених ефеката, одређује смер електричне струје у струјном колу и објашњава њено протицање/стварање;
- да предузима мере за заштиту од струјног удара;
- да објашњава својства магнета и постојање магнетних сила преко њихових узајамних дејстава у магнетном пољу;
- да повезује електричне и магнетне појаве и упоређује их.

3.1. ГРАЂА АТОМА. ЕЛЕКТРИЧНА НАЕЛЕКТРИСАЊА

ПОЈМОВИ

атом

електронски
омотач

електрон

неутрон

елементарно електрично наелектрисање

атомско језгро

јон

протон

кулон

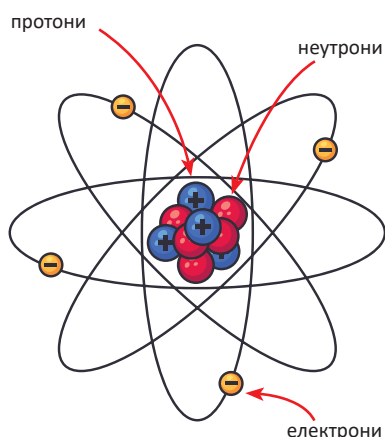
количина електрицитета

позитиван јон-катјон

негативан јон-анјон

Грађа атома

До краја 19. века атоми су се сматрали најмањим градивним честицама материје, односно честицама од којих су састављени хемијски елементи. Сваки хемијски елемент има карактеристичан атом са уникатним карактеристикама. Према



Слика 1. Најједноставнији графички приказ атома - у језгру се налазе протони и неутрони, а електрони круже око језгра

најједноставнијем моделу, атоми се могу замислити као веома мале честице лопастог облика. Касније, крајем 19. и почетком 20. века, откривено је да атом, иако изузетно мали, није недељив, већ има сопствену унутрашњу структуру. Данас знамо да се сваки атом састоји од централног дела названог **језгро** и од **електрона** који се крећу око њега. Простор у којем се могу наћи електрони око језгра назива се **електронски омотач**. Језгро има велику густину и масу и у њему се налазе **протони** и **неутрони**. Протони и неутрони заједничким именом називамо **нуклеони** („nucleus“ на латинском значи језгро). Карактеристично је то што је за сваки атом број протона једнак броју електрона.

Атоми различитих елемената се разликују према броју протона у језгру, а тиме и према броју електрона у електронском омотачу. Тако, на пример, атом водоника има један протон у језгру и један електрон у електронском омотачу, атом кисеоника има тачно осам протона и осам електрона. На Слици 1 је приказан атом са четири протона у језгру и четири електрона у омотачу. То је атом берилијума (Be). Сваки елемент у Периодном систему има атоме са тачно одређеним бројем протона у језгру, односно електрона у електронском омотачу.

Две врсте наелектрисања



АКТИВНОСТ

1. Истраживање о атомима

О грађи Периодног система елемената учили сте на часовима хемије. Редни број елемента у Периодном систему једнак је броју протона у језгру атома тог елемента. Разгледај колико протона имају различити елементи. Који елемент има атом са највећим бројем протона у свом језгру? Покушај да илуструјеш неке од атома лакших језгара, као што су Li, C, N, O. Број неутрона у језгрима треба да буде једнак броју протона.

Наелектрисање је карактеристика, односно својство неких честица, слично као маса. Неке честице поседују то својство, а друге не. Честице које имају наелектрисање називамо **наелектрисаним честицама**. Често се наелектрисане честице називају и **носиоцима наелектрисања**. Експериментално је утврђено да се у природи срећу само две врсте наелектрисања и за њих је прихваћено да их називамо **позитивно наелектрисање** и **негативно наелектрисање**. Протони имају позитивно наелектрисање, електрони негативно, а неутрони немају наелектрисање и за њих кажемо да су **електронеутрални**.

Електрично наелектрисање представља физичку величину која се може мерити. Користи се и други термин, а то је **количина електрицитета**. Симбол за количину електрицитета је q , а основна мерна јединица је један **кулон** (1 C). Прецизним експерименталним мерењима утврђено је да је у природи најмања могућа количина електрицитета наелектрисање електрона и протона и утврђено је да износи $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Ова количина електрицитета названа је **елементарно електрично наелектрисање**. Наелектрисање је скаларна величина. Ако је тело позитивно наелектрисано, његову количину електрицитета записујемо као позитивну величину, али ако је тело негативно наелектрисано, његову количину електрицитета записујемо као негативну величину. Тако, за наелектрисање протона можемо записати $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ C, а за наелектрисање електрона можемо записати $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Не постоји друга врста електричног наелектрисања у природи.

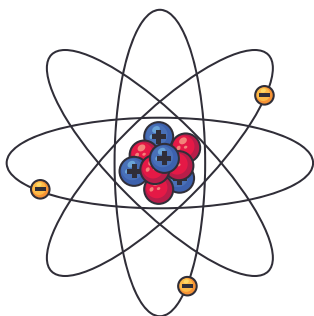
Будући да је број протона и електрона код атома исти, можемо закључити да је атом као целина електронеутралан. Зато су супстанце и тела у природи електронеутрални, као што су ваздух, вода, балон, коса, одећа, чешаљ и многи други. Када је тело електронеутрално, то не значи да у телу нема наелектрисања, напротив, у њему постоје и позитивна и негативна наелектрисања, само што су она у равнотежи.

Честице у саставу атома држе се заједно као позитивне и негативне преко дејства сила између њих. У језгру између протона и протона, протона и неутрона и између неутрона и неутрона делују јаке привлачне нуклеарне (језгрене) силе и зато протони или неутрони не могу лако напустити језгро. С друге стране, силе које држе електроне око језгра слабије су од нуклеарних сила. Зато је много лакше да један или више електрона напусти атом. Електрони који су најдаље од језгра најлакше могу напустити атом, јер је за њихово уклањање потребна најмања енергија.

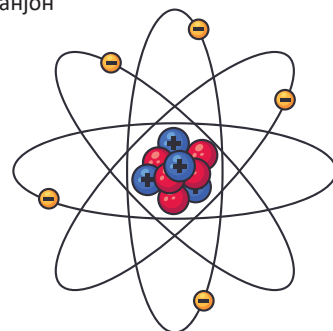
Када један или више електрона напусти атом, тада тај атом постаје **позитиван јон (катјон)**. Откинути електрони могу се везати за неутралан атом и тада тај атом постаје **негативан јон (анјон)**. Значи, наелектрисан атом који има мањак или вишак електрона називамо **јон**. Процес при којем се од неутралног атома добија јон називамо **јонизација**.

Осим што електрони могу напустити атом, они могу напустити једно тело и прећи на друго тело. На тај начин добијамо наелектрисана тела. **Наелектрисано тело** има или

а) катјон



б) анјон

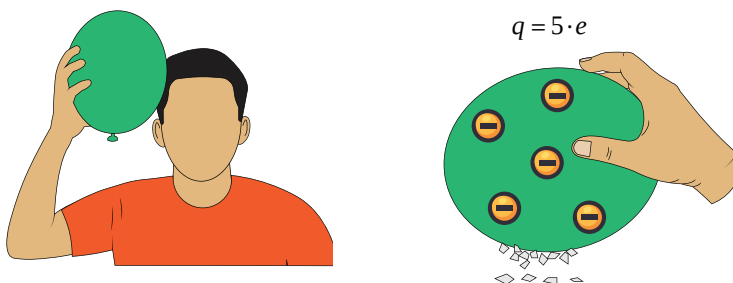


Слика 2.

а) Катјон - број електрона је мањи од броја протона

б) Анјон - број електрона је већи од броја протона

вишак електрона или мањак електрона. Ако има вишак електрона, тело је негативно наелектрисано. Ако има мањак електрона, оно је позитивно наелектрисано.



Слика 3. Након трљања балона о косу, на њега је прешло 5 негативних елементарних електричних наелектрисиња.

Из експеримента приказаног на Слици 3 можемо закључити да наелектрисињање било ког тела можемо изразити формулом:

$$q = n \cdot e,$$

при чему је n број елементарних електричних наелектрисиња (позитиван цео број), а e величина елементарног електричног наелектрисиња.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

Колико елементарних наелектрисиња се садржи у количини наелектрисиња од 1 С..

Дато:

$$q = 1\text{C}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$$

Тражи се:

$n = ?$

а. Број елементарних електричних наелектрисиња која се налазе на телу које је наелектрисано наелектрисињем од 1 С је:

$$q = n \cdot e \Rightarrow n = \frac{q}{e} = \frac{1\text{C}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}} = 6,25 \cdot 10^{18}$$



ЗАНИМЉИВОСТИ

Више од 99,9 % масе атома налази се у језгру. Електрон има масу која је приближно 1836 пута мања од масе протона и приближно 1839 пута мања од масе неутрона.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Џозеф Џон Томсон (Joseph John Thomson, 1856–1940)

Томсон је био енглески физичар који је оставио дубок траг у развоју модерне атомске физике. Он је 1897. године спровео серију експеримената којима је показао да атом није недељива честица. У својим експериментима забележио је честице са веома малом масом и негативним електричним наелектрисањем. Ове честице се данас називају електрони и то су прве градивне честице атома које је човек открио. Томсон је својим открићем разбио мит о атому као недељивој честици и отворио врата модерној теорији о атому.



Осим што је открио електрон, Томсон је предложио један од првих модела структуре атома – познати модел атома „пудинг са сувим грождјем“, у којем су електрони уграђени у позитивно наелектрисано језгро величине самог атома, слично зрнима сувог грождја стављеним на површину пудинга. Томсон је добио Нобелову награду за физику 1906. године за своја истраживања електричне проводљивости гасова.

ЗА 5+

Ако је једно тело наелектрисано позитивним, а друго негативним наелектрисањем, при међусобном додиру долази до прерасподеле тог наелектрисања. Ако су оба тела наелектрисана истом количином наелектрисања, али супротног знака, након додира оба тела постају електронеутрална. Ако додирнемо два тела истих димензија, при чему прво тело има наелектрисање q_1 , а друго тело q_2 , свако од тела ће након додира имати наелектрисање које се може израчунати једначином:

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2}$$

Ова последња једначина важи само ако тела имају исте димензије. Ако су тела разноимено наелектрисана, наелектрисање позитивно наелектрисаних тела треба узети као позитивну величину, а наелектрисање негативно наелектрисаних тела као негативну величину. Прерасподела наелектрисања у затвореном систему настаје према Закону о одржању електричног наелектрисања, према којем се укупно наелектрисање у изолованом систему не мења.

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Ако је број протона у језгру атома и број електрона у електронском омотачу исти, колико је укупно наелектрисање атома?
2. Која честица у језгру нема електрично наелектрисање?
3. Једно тело има мањак од $5 \cdot 10^{12}$ електрона. Да ли је позитивно или негативно наелектрисано?
4. Колико елементарних наелектрисања садржи електрично наелектрисање од $3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$?
5. Израчунај електрично наелектрисање ако тело има вишак од $5 \cdot 10^{12}$ електрона.

ЗАПАМТИ

- Атом је изграђен од атомског језгра (протони и неутрони) око којег се крећу електрони.
- Највећи део масе атома је у атомском језгру.
- У природи постоје две врсте наелектрисања (позитивно и негативно).
- Основна јединица мере за количину наелектрисања је један кулон (1 C).
- Наелектрисање електрона назива се елементарно електрично наелектрисање.

3.2 ЕЛЕКТРИСАЊЕ ТЕЛА

ПОЗМОВИ

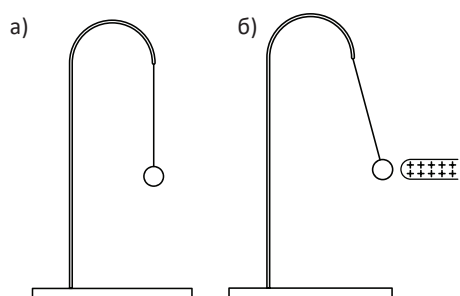
електрична инфлуенција/индукција

електроскоп

електрометар

Наелектрисана тела

Једна од сила које делују на даљину је електростатичка сила која делује између тела која су наелектрисана. Ако су два тела наелектрисана истом врстом наелектрисања (кажемо истоимено наелектрисана), она се одбијају, а ако су наелектрисана супротним електричним наелектрисањем (кажемо разноимено наелектрисана), тела се привлаче. Да бисмо одредили да ли је неко тело наелектрисано, користимо међудејство са другим наелектрисаним телом.



Слика 1. а) Електростатичко клатно у равнотежном положају, б) При приближавању наелектрисаног тела електростатичком клатну, куглица се отклони из равнотежног положаја.

Да ли је тело наелектрисано, најједноставније може да се провери помоћу електростатичког клатна (Слика 1а). Електростатичко клатно је лагана куглица направљена од стиропора, плуте или сржи биљке зове, која је обешена о конач који не проводи наелектрисање. При приближавању наелектрисаног тела куглици, она се помера, односно тело привлачи куглицу, као што је приказано на Сlici 1б). Ако куглици електростатичког клатна приближимо ненаелектрисано тело, она се не помера из равнотежног положаја.

Други уређај за утврђивање да ли је неко тело наелектрисано је електроскоп. Он се састоји од два метална дела која нису у додиру. Први део је унутрашња шипка са металном куглицом на врху (глава електроскопа), која се на доњем делу завршава са два танка метална листића, као што је приказано на Сlici 2а. Да би се избегли спољашњи утицаји, метални листићи су смештени у цилиндричну металну кутију која је са обе стране затворена стаклом. Ова кутија је постављена на изолаторску основу. Када електроскоп није наелектрисан, листићи нису раширени. Ако се глави електроскопа додирне електронеутрално тело, положај листића ће остати непромењен. Ако на електроскоп донесемо наелектрисање додиривањем главе наелектрисаним телом, наелектрисање се распоређује по унутрашњој шипки и по листићима. Пошто се метални листићи истоимено наелектришу, они се одбијају, као што је приказано на Сlici 2б. Ако су листићи отклоњени из почетног положаја, можемо закључити да је тело које смо додирнули главом електроскопа наелектрисано.

Електроскоп са скалом називамо **електрометар**. Њиме не само што можемо одредити да ли је неко тело наелектрисано, већ можемо одредити и величину наелектрисања тела које ћемо додирнути главом електрометра. На Сlici 3 је приказан електрометар када је додирнут телом које је позитивно наелектрисано.

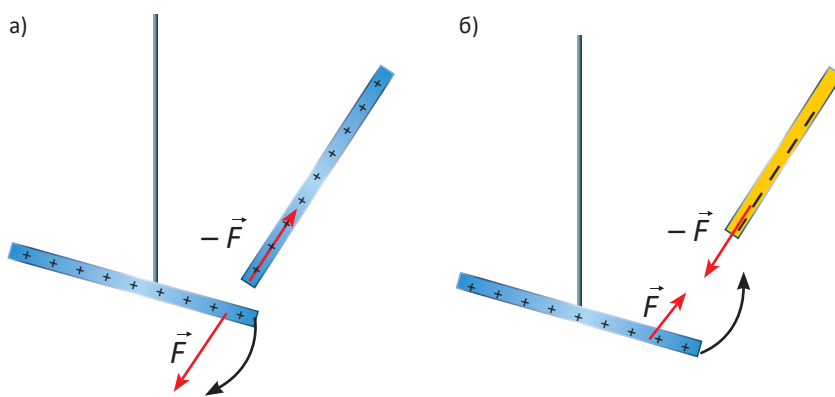
Електростатометар показује отклон стрелице. На граду-ираној скали може се прочитати величина наелектрисања.

Електрисање тела

Тела се могу наелектрисати на неколико начина: трењем два тела, додиром наелектрисаног тела са ненаелектрисаним и електростатичком инфлуенцијом.

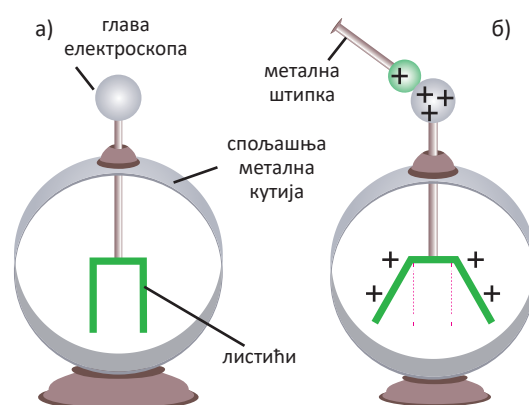
Електрисање тела трењем

Ако протрљамо пластичну или стаклену шипку вуненом крпом и шипку приближимо ситним листићима хартије или коси, тада се листићи хартије и коса прилаче шипки. Ако две стаклене шипке протрљамо вуненом крпом и једну обесимо о конач тако да може слободно да ротира, а затим приближимо другу стаклену шипку, приметимо да се оне одбијају (Слика 4а). Али, ако стакленој шипки која је обешена о конач приближимо пластичну шипку, такође протрљану вуненом крпом, приметимо супротан ефекат, односно шипке се привлаче (Слика 4б).

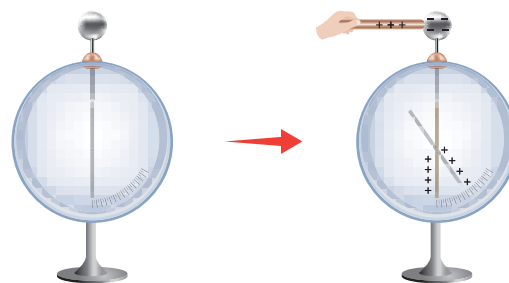


Слика 4. а) Одбијање две наелектрисане стаклене шипке
б) Привлачење наелектрисане стаклене и пластичне шипке.

стакла прешао на вуену крпу. Пластична шипка протрљана вуненом крпом се наелектрише негативно будући да је део електрона са вумене крпе прешао на пластичну шипку.



Слика 2. а) Електроскоп б) Тело којим смо додирнули главу електроскопа је наелектрисано – метални листићи су раздвојени.



Слика 3. Електроскоп и одређивање величине наелектрисања тела којим смо додирнули главу електростатометра.

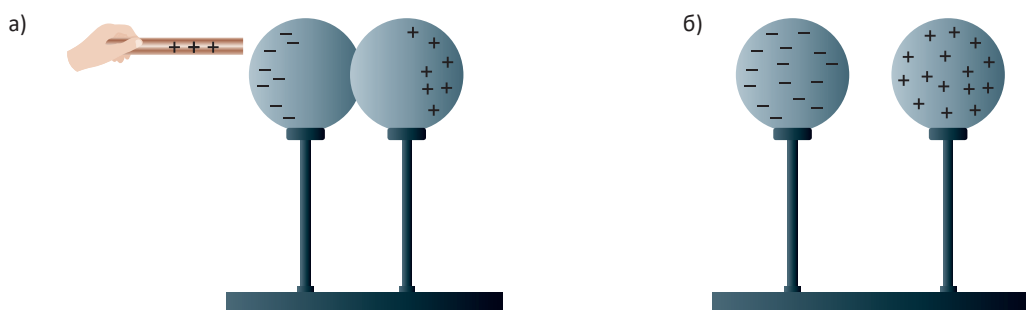
Трењем се електро-неутрална тела могу наелектрисати. Стаклена и пластична шипка су наелектрисане разноименим наелектрисањима. Стаклена шипка протрљана вуненом крпом се електрише позитивно, будући да је део електрона при трљању са

Наелектрисавање тела додиром

Ако додирнемо ненаелектрисано тело телом које смо већ наелектрисали, тада ће се наелектрисање расподелити на оба тела, тако да ће након раздвајања тела део наелектрисања остати на једном телу, а део на другом. Ако до ненаелектрисане стаклене шипке, постављене на конач као у претходном случају, додирнемо другу наелектрисану шипку и затим их раздвојимо, обе шипке ће бити позитивно наелектрисане. Ако покушамо да приближимо једну шипку другој, приметимо да ће се оне међусобно одбијати.

Наелектрисавање тела електричном инфлуенцом

Ако двома додирнутим металним куглицама постављеним на изолаторско постоље приближимо тело које је, на пример, наелектрисано позитивно, тада ће се слободни електрони под дејством привлачне електростатичке силе кретати ка позитивно наелектрисаном телу. На тај начин метална куглица која је ближе телу имаће вишак електрона, а удаљенија куглица ће имати мањак електрона. Док држимо наелектрисано тело у близини прве куглице и мало раздвојимо спојене металне куглице, тада ће прва куглица бити наелектрисана негативно, а друга куглица ће бити позитивно наелектрисана. Овакав начин наелектрисавања је могућ само код метала и назива се наелектрисавање електричном инфлуенцом или електричном индукцијом.



Слика 5. Наелектрисавање електричном инфлуенцом; а) До прве куглице је приближено позитивно наелектрисано тело, па долази до наелектрисавања тела; б) Раздвајањем куглица, тела остају наелектрисана једнаким и супротним количинама наелектрисања.



АКТИВНОСТ

1. Наелектрисавање електроскопа на два начина

Протрљај стаклену шипку вуненом крпом и додирни њоме главу ненаелектрисаног електроскопа? Шта примећујеш? Којим наелектрисањем је наелектрисан електроскоп? Разнаелектриши електроскоп тако што ћеш га додирнути прстом. Сада, наелектриши електроскоп инфлуенцом. Приближи стаклену шипку, коју си поново протрљао вуненом крпом, глави електроскопа. Приметићеш да су се листићи раздвојили. Објасни појаву. Где се сакупило негативно наелектрисање на електроскопу, а где постоји мањак негативних наелектрисања. Док је шипка у близини главе, додирни главу електроскопа прстом. На тај начин негативна наелектрисања се преносе у Земљу. Склони прст и стаклену шипку. Како је сада наелектрисан електроскоп?

ЗА 5+

Када се два наелектрисана тачкаста тела налазе у вакууму, сила којом она међусобно делују зависи од њихових наелектрисања и од растојања између њих. Сила којом делују наелектрисања назива се Кулонова сила и њена величина може се израчунати формулом:

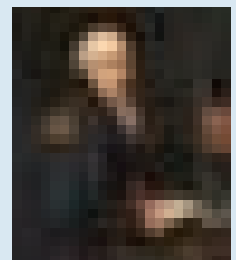
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

где је са F означена сила којом узајамно делују тела, q_1 и q_2 су величине наелектрисања а r је растојање између два наелектрисања. Са k означавамо константу пропорционалности, која за вакуум износи $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$. Будући да је свака сила узајамно дејство између два тела, можемо закључити да Кулонова сила делује на оба наелектрисања.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Шарл-Огистен Кулон (Charles-Augustin de Coulomb 1736–1806)

Кулон је био француски инжењер и физичар чија су истраживања поставила темеље електростатике. Стварањем своје познате торзионе ваге, Кулон је први успео да открије од чега зависи сила узајамног дејства између наелектрисаних тела. На основу ових мерења формулисао је Кулонов закон, према којем је сила између два наелектрисана објекта пропорционална производу њихових наелектрисања и обрнуто пропорционална квадрату



растојања између њих. Овај закон је фундаменталан за разумевање свих електростатичких појава. У част његовог рада, основна SI јединица за електрично наелектрисање названа је кулон (C).



ЗАНИМЉИВОСТИ

Електроскоп је направљен пре више од 400 година и још увек се користи на исти начин.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Зашто се метални листићи код електроскопа раздвајају када приближимо наелектрисање?
2. Како можеш да утврдиш да ли је непознато тело позитивно или негативно наелектрисано?
3. Две металне куглице су у контакту. Приносимо позитивно наелектрисано тело првој, а затим раздвајамо куглице. Опиши наелектрисања на обе куглице након раздвајања.
4. Објасни разлику између електрометра и електроскопа.
5. На која три начина се могу наелектрисати тела?



ЗАПАМТИ

- Наелектрисано тело је тело које има вишак или мањак електрона.
- Истоимена наелектрисања се одбијају, разноимена се привлаче.
- Електроскоп је инструмент којим се може проверити да ли је тело наелектрисано.
- Тела се могу наелектрисати трењем, додиром и инфлуенцом.

3.3. ЕЛЕКТРИЧНО ПОЉЕ

ПОЈМОВИ

електрично поље

електрична сила

линије електричне силе

Присуство неког наелектрисања у датој тачки мења средину или простор око тог наелектрисања. Иако то не можемо осетити нашим чулима, ипак кроз експерименте и истраживања можемо открити шта се дешава у простору око датог електричног наелектрисања.

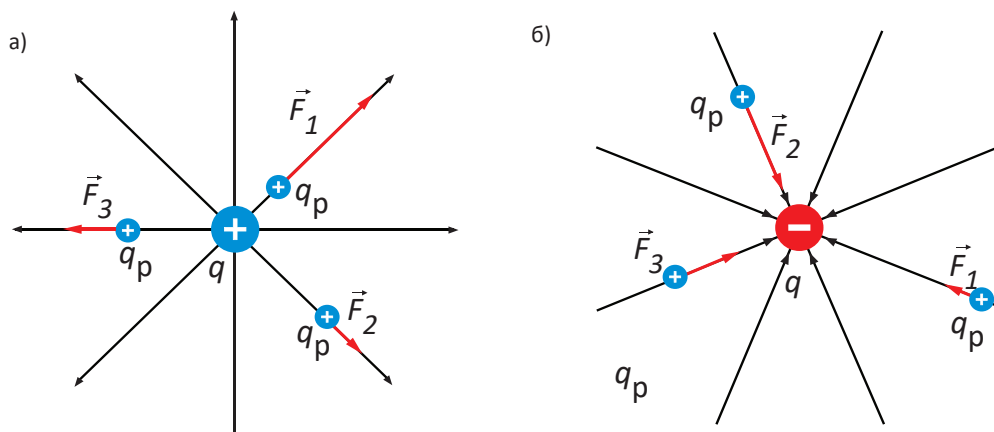


Слика 1. Правац и смер дејства гравитационе силе Земље.

Можемо почети поређењем и размотрити појаву коју сте већ срели. На свако тело које је у близини Земље делује гравитациона сила усмерена вертикално надолу. Та сила не би деловала да Земља не постоји. Простор око Земље има различита својства од простора у Васељени, где нема звезда или планета. Кажемо, око Земље постоји гра-витационо поље (Слика 1). Због гравитационог поља Земље, тела се привлаче ка њеној површини. Иако гравитационо поље постоји у простору око сваког тела које има масу, у близини Земље, гравитационо поље Земље је највеће. На Слици 1 је приказан смер-гравитационе силе која делује на тело које се налази у гравитационом пољу Земље. Нацртани вектори су усмерени ка центру Земље, односно у радијалном правцу (вектори су нормални на површину Земље).

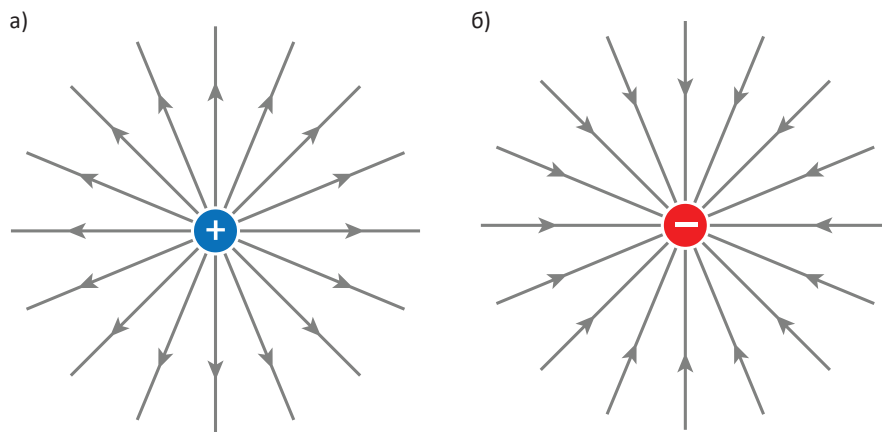
Слично стварању гравитационог поља око Земље, и око сваког наелектрисања или наелектрисаног тела мења се простор, односно кажемо да постоји електрично поље. За истраживање електричног поља користимо пробно наелектрисање. То је тачкасто наелектрисање, по договору позитивно. Сада, ако у простор где постоји електрично поље донесемо пробно наелектрисање, на то наелектрисање ће деловати сила коју називамо електростатичка сила. Ако у простору у који ћемо донети пробно наелектрисање нема електричног поља, тада на њега не делује електростатичка сила. Ако до позитивно наелектрисаног тела донесемо позитивно пробно наелектрисање, тада ће на то наелектрисање деловати одбојна електростатичка сила и оно ће настојати да се удаљи од тела. Супротно, ако до негативно наелектрисаног тела донесемо пробно наелектрисање, на њега ће деловати привлачна електростатичка сила и оно ће бити привучено ка негативно наелектрисаном телу. На слици 2а је приказано пробно наелектрисање (q_p) донето до позитивно наелектрисаног тела, а на слици 2б исто пробно наелектрисање донето до негативно наелектрисаног тела. На слици су

приказани и правац и смер сила које делују на наелектрисање. Електростатичке силе које у оба случаја делују на пробно наелектрисање, као и гравитационе силе које делују на тело у близини Земљине површине су у радијалном правцу.



Слика 2. Правац и смер електростатичке силе која делује на пробно наелектрисање ако је тело наелектрисано а) позитивно, б) негативно.

За описивање електростатичког поља користимо линије силе. То су замишљене линије дуж чијег правца и смера делује електрична сила на пробно наелектрисање. Према томе, линије силе простиру се у радијалном смеру: излазе са површине позитивног, а завршавају на површини негативног наелектрисања, као што је приказано на Сlici 3.

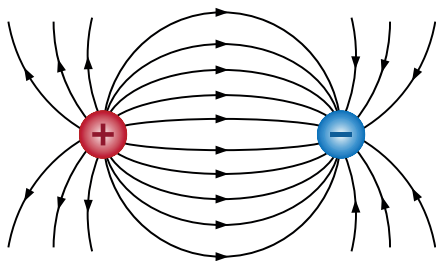


Слика 3. Линије силе код а) позитивног наелектрисања б) негативног наелектрисања.

Линије силе су отворене линије и могу бити праве и криве линије. На основу густине линија можемо одредити где је електрично поље јаче. Већа густина линија значи и већу јачину поља. Број линија силе које пролазе кроз јединицу

површине на датом месту у простору одређује јачину електричног поља. „На Сlici 4 приказане су линије силе система од два наелектрисања доведена на мало међусобно растојање. Може се приметити да линије силе имају смер од позитивног ка негативном наелектрисању и да су криве линије. У близини наелектрисања јачина електричног поља је највећа (зато што има највише линија силе по јединици површине у простору), а што се даље иде од наелектрисања, јачина електричног поља се смањује.

површине на датом месту у простору одређује јачину електричног поља. „На Сlici 4 приказане су линије силе система од два наелектрисања доведена на мало међусобно растојање. Може се приметити да линије силе имају смер од позитивног ка негативном наелектрисању и да су криве линије. У близини наелектрисања јачина електричног поља је највећа (зато што има највише линија силе по јединици површине у простору), а што се даље иде од наелектрисања, јачина електричног поља се смањује.



Слика 4. Линије силе код система од два разноимена наелектрисања.

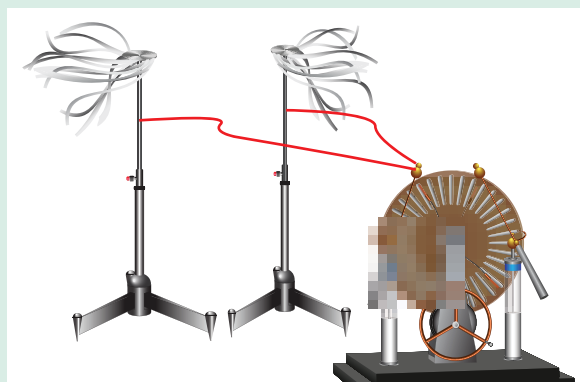
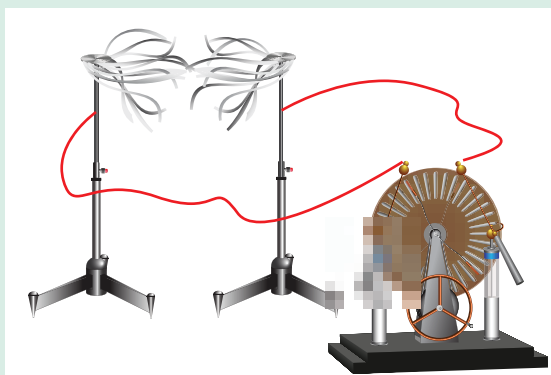
Електрично поље око тачкастог наелектрисања није хомогено, односно нема исту јачину у свакој тачки око наелектрисања. На местима ближе наелектрисању, поље има већу јачину. Што се више удаљавамо од наелектрисања, поље слаби.



АКТИВНОСТ

1. Изучавање линија силе електричног поља

Постави два снопа папирних трака на основу од изолатора. Забележи какве су папирне траке када метална куглица на снопу није наелектрисана. Затим, металне куглице са оба снопа спој са крајевима инфлуентне машине или Ван де Графовог генератора, ако га има у школи. Посматрај распоред папирних трака када су два снопа разноимено наелектрисана. Уместо папирних листића, снопови могу бити од текстила, на пример вунице. Затим два снопа спој са истим полом инфлуентне машине. Посматрај распоред папирних листића када су два снопа истоимено наелектрисана.

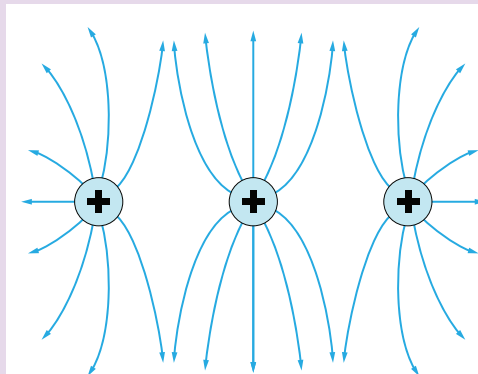


РЕШЕНИ ПРИМЕР

Скицирај линије силе електричног поља система од три тачкаста позитивно наелектрисана наелектрисања. Наелектрисања су постављена на линији.

Решење: Пошто су сва наелектрисања позитивно наелектрисана, линије силе електричног поља треба да излазе из њих.

Даље, пошто сматрамо да у близини овог система нема негативних наелектрисања, ове линије треба да се настављају надалеко. Такође, треба да имаш на уму да се линије не секу међусобно, као што је приказано на слици.



Линије силе електричног поља не постоје као стварне линије у простору, већ су модел који нам помаже да прикажемо поље. Линије силе ипак можемо да визуелизујемо, на пример, као у активности са наелектрисаним сноповима.



АКТИВНОСТ

2. Изучавање јачине електричног поља помоћу интерактивне интернет странице

Отвори симулацију „Наелектрисања и поља“ (Charges and Fields) на интернет страници: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/charges-and-fields>

Постави једно позитивно тачкасто наелектрисање и прикажи линије силе. Посматрај правце и смерове линија силе електричног поља. Додај још једно позитивно наелектрисање и забележи како се мењају линије силе електричног поља. Додај једно негативно наелектрисање између два наелектрисања и објасни како се променило електрично поље додавањем трећег наелектрисања. Покушај да створиш ситуацију у којој је електрично поље приближно хомогено. Прикажи електрична поља система наелектрисања различитих величина.

ЗА

5+

Јачина електричног поља E у некој тачки једнака је сили F , која делује на јединично пробно наелектрисање q . Према томе, јачину електричног поља можемо израчунати формулом:

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

Јединица за јачину електричног поља је њутн по кулону (N/C). Ако се у последњој једначини за-мени једначина којом се израчунава Кулонова сила узајамног дејства између два наелектрисања која се налазе у вакууму, за јачину електричног поља које ствара наелектрисање q на растојању r од наелектрисања добијамо

$$E = k \cdot \frac{q}{r^2}$$

Други начин да се опише електрично поље је помоћу електричног потенцијала. Потенцијал у једној тачки показује колика је потенцијална енергија јединичног пробног наелектрисања када је постављено на растојање r од наелектрисања које ствара поље. Према томе, за потенцијалну енергију коју има пробно наелектрисање, можемо записати

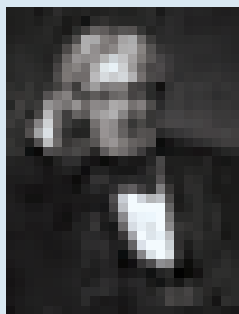
$$E_p = q_p \cdot \varphi$$

Потенцијал који ствара наелектрисање q на растојању r од њега израчунава се формулом:

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

Јединица за електрични потенцијал је 1 џул по кулону (1 J/C). У част великог ит алијанског физичара Алесандра Волте, ова јединица се назива и волт ($1 \frac{J}{C} = 1 V$). У обе једначине са k означавамо константу пропорционалности, која за вакуум износи $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$. Јачина поља и потенцијал су два различита, али повезана начина да се опише електрично поље које ствара дато наелектрисање. Јачина поља, као и сила, је векторска величина, а потенцијал је скаларна величина.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

**Мајкл Фарадеј (Michael Faraday 1791–1867)**

Мајкл Фарадеј био је енглески физичар и хемичар који је оставио неизбрисив траг у развоју електрицитета и магнетизма. Потичао је из сиромашне породице и није имао формално високо образовање, али захваљујући великој радозналости и упорности постао један од највећих експериментатора у историји науке. Први је систематски проучавао електричне и магнетне појаве и показао да су оне тесно повезане.

Фарадеј је увео појам поља да би објаснио како делују силе у простору око наелектрисања и магнета. Уместо да замишља „мистично“ деловање на даљину, он је замишљао линије силе, односно линије по којима ће сила деловати на мало пробно наелектрисање или на магнет. Овај појам је данас основа целе науке о електрицитету и многи уређаји (електромотори, трансформатори, генератори) се заснивају на законима које је Фарадеј открио експериментално.

**ЗАНИМЉИВОСТИ**

Електростатички филтери у фабричким димњацима стварају јака електрична поља како би „уловили“ наелектрисане честице прашине и дима.

**ПИТАЊА И ЗАДАЦИ**

1. Како се остварује бесконтактно узајамно дејство између два наелектрисања?
2. Шта представљају електричне линије силе?
3. Објасни зашто узимамо да електричне линије силе излазе из позитивног наелектрисања, а улазе у негативно.
4. Како одређујемо јачину поља помоћу електричних линија силе?
5. Три тачкаста наелектрисања су постављена на праву, при чему су слева на десно наелектрисања:
 $q_1 = +q$, $q_2 = +q$, и $q_3 = -q$.
 а) Нацртај како би изгледале линије силе система наелектрисања.
 б) У ком делу простора поље има највећу јачину?

**ЗАПАМТИ**

- Свако наелектрисано тело ствара електрично поље у простору око себе.
- Електричне линије силе су замишљене линије по којима је усмерена електрична сила која делује на пробно позитивно наелектрисање.
- Ако на пробно наелектрисање не делује електростатичка сила, у том делу простора нема електричног поља.
- Линије силе излазе из површине позитивног наелектрисања и завршавају на површини негативног наелектрисања.
- Што су линије силе гушће, то је електрично поље јаче у том делу простора.
- Електрично поље које ствара тачкасто наелектрисање је нехомогено.

3.4. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА И ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

ПОЈМОВИ

слободни електрони

електрична струја

усмерено кретање

проводљивост

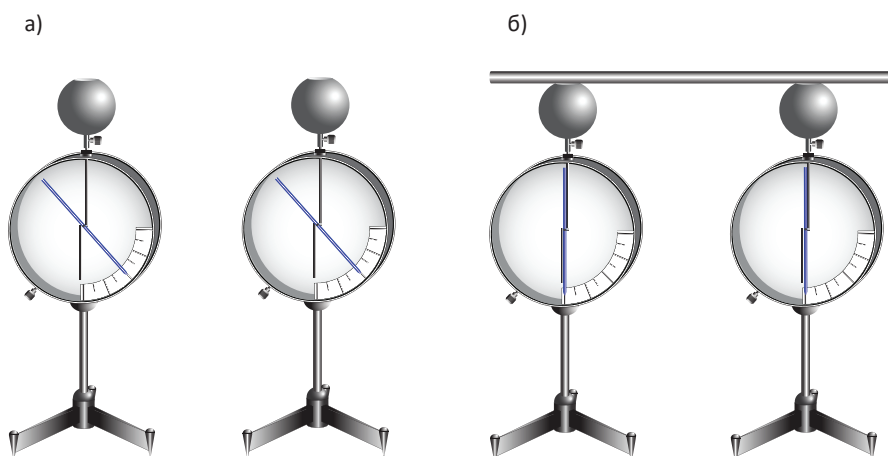
једносмерна струја

наизменична струја

струјно коло

смер струје

У свакодневном животу стално се срећемо са електричном струјом. Електрични уређаји и апарати, као што су сијалице, фрижидери и компјутери, могу да функционишу само док су повезани на електричну мрежу и кроз њих тече струја. Да бисмо разумели шта представља електрична струја, треба најпре да размотримо електричне набоје и њихово кретање.



Слика 1. Течење на електрична струја

а) Електрометрите биле наелектризирани са истом количином разнородних набоја

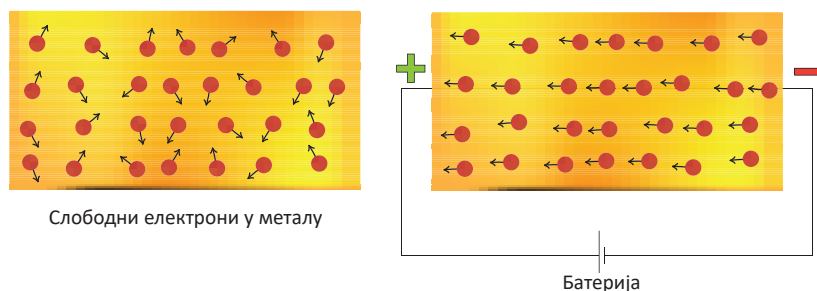
б) По спајању са металном палицом они нису наелектрисани

Ако два електрометра су наелектрисана са истом количином електричног набоја, али са супротним знаком, њихове стрелице ће показивати исто одбијање. Један електрометар има вишак електрона, а други недостатак електрона. Када се главе оба електрометра споје металном палицом, стрелице, се враћају у почетни положај, односно оба електро-

метра се електронеутрални. Ово показује да су се електрични набоји преместили низ метал и да то кретање престаје када ни на првом електроскопу нема вишак електрона, нити на другом недостатак електрона. Са овим се показује да кроз метал **тече електрична струја**.

Код метала постоји велики број **слободних електрона**, односно електрона који нису везани за неки атом и слободно могу да се крећу. Под дејством електричних поља створених од електрометара, слободни електрони од металне палице почињу да се крећу од електрометра са вишком електрона ка електрометру где има недостатак електрона. Зато је кроз метале могуће да тече електрична струја. Супстанције кроз које може да тече електрична струја имају својство **електричне проводљивости**.

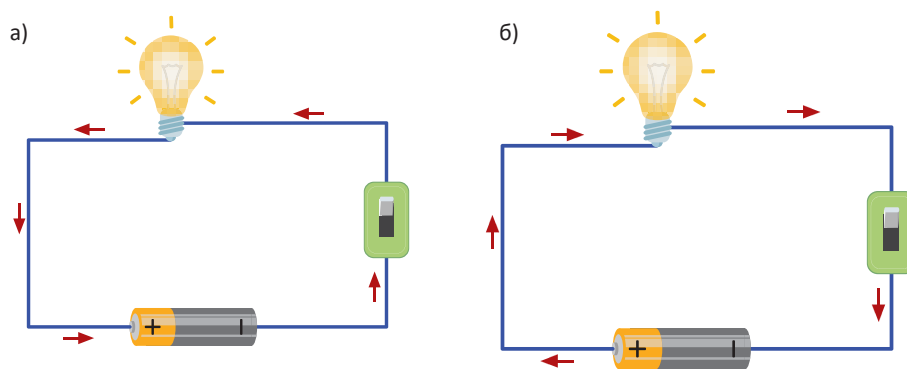
Када метал није у електричном пољу тада се слободни електрони у њему крећу у свим правцима (такозвано хаотично или топлинско кретање). Када се метал унесе у електрично поље, тада електрони почињу да се крећу усмерено, као што је приказано на Слици 2. Управо ово усмерено кретање електрона у металима представља течење електричне струје.



Слика 2. а) Хаотично кретање слободних електрона у металу
б) Усмерено кретање слободних електрона под дејством електричног поља створеног од батерије.

Струјно коло и смер електричне струје

Најједноставније струјно коло (Слика 3) састављено је од електричног извора (на пример, батерија), металних жица кроз које се крећу електрични набоји, прекидача струје у колу и потрошача електричне енергије (као што су сијалица, мотор или ЛЕД-диода). Будући да су код метала слободни електрони носиоци набоја који се усмерено крећу, у таквом колу струја тече од негативног пола извора ка позитивном полу. Међутим, одавно, када је започело истраживање електричне струје, мало се знало за носиоце набоја који се усмерено крећу.



Слика 3. Једноставно струјно коло а) Стрелицама је приказано усмерено кретање електрона
б) Стрелицама је приказан смер техничке струје.

Прва хипотеза била је да се позитивни набоји усмерено крећу кроз супстанције. Данас, иако знамо да то није случај у многим ситуацијама, при изучавању течења струје у струјним колима узимамо да је **смер** течења струје од позитивног ка негативном полу батерије. Овај смер се назива **договорени смер струје** или **технички смер струје** и одговара смеру кретања позитивних наелектрисања.

Да би електрична струја текла у струјном колу, потребно је да буде испуњено неколико услова. Пре свега, струјно коло треба да буде затворено, без прекида. Затим, супстанце кроз које тече електрична струја треба да имају слободна наелектрисања. И на крају, мора да постоји извор који ће на својим крајевима одржавати стално електрично поље.

Струја не тече само кроз тела у чврстом агрегатном стању. Проводна средина кроз коју тече електрична струја може бити у течном или гасовитом агрегатном стању. Металне жице су примери супстанци кроз које тече струја, а налазе се у чврстом агрегатном стању. Раствори соли, киселина и база су примери супстанци у течном агрегатном стању које имају електричну проводљивост. Под одређеним условима, струја може да тече и кроз гасове, као што је случај при електричном пражењу или муњи кроз ваздух.

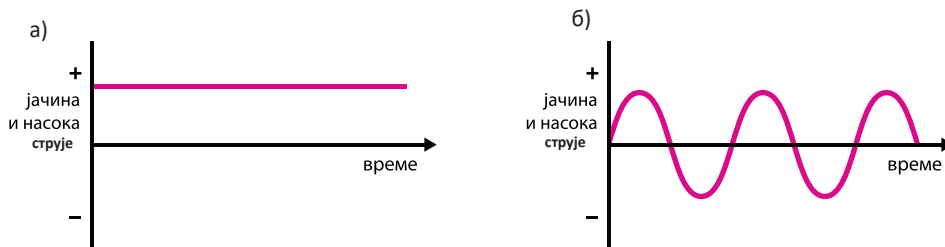
Једносмерна и наизменична струја

У зависности од начина на који извор ствара електрично поље, разликујемо **једносмерну** (или **праву струју**) и **наизменичну струју**. Једносмерна струја потече у струјном колу када у њега повежемо батерију. Наелектрисања се стално крећу у једном смеру. Ако једносмерна струја има исту јачину, са протоком времена кажемо да је реч о сталној струји.

Наизменична струја, коју добијамо укључивањем потрошача у електричну мрежу, периодично мења и величину и смер течења. Електричне централе производе наизменичну струју, док батерије и соларни панели омогућавају течење једносмерне струје. Какву ће струју стварати неки извор зависи од начина на који се један вид енергије (механичка, топлотна, светлосна или хемијска) претвара у електричну.

Потрошачи електричне енергије су уобичајено подељени на електричне уређаје кроз које може да тече једносмерна струја, као што су ЛЕД-сијалице, тротинети, електрични аутомобили и електрични уређаји који функционишу на наизменичну струју, као што су фрижидер и електрични бојлер. Постоје и многи електрични уређаји који користе наизменичну струју из мреже, али је унутрашње претварају у једносмерну струју, као што су рачунари.

Слика 4.
Графички приказ
а) Стална једносмерна
струја
б) Наизменична струја.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Сијалица светли готово тренутно јер се електрично поље у проводницима успоставља веома брзо, иако је брзина електрона од неколико милиметара до неколико центиметара у секунди.



АКТИВНОСТ

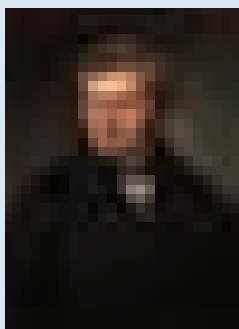
1. Изучавање јачине и смера течења струје помоћу интерактивне интернет странице

Отвори симулацију „Повезивање струјних кола AC-Виртуелна лабораторија“ (Circuit Construction Kit: AC - Virtual Lab) на интернет страници <https://phet.colorado.edu/en/simulations/circuit-construction-kit-ac-virtual-lab>

Помоћу жица, повежи потрошач (сијалицу) са извором једносмерне струје (батеријом). Да ли сијалица светли? У десном углу апликације постави да буде видљива струја и затим у једном случају посматрај кретање електрона (одабери опцију „electrons“), а у другом случају одабери технички смер струје (одабери опцију „conventional“). Шта примећујеш? Какви су смерови кретања електрона у струјном колу, а какав је смер техничке струје?



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Георг Ом (Georg Ohm 1789–1854)

Ом је био немачки физичар који је значајно допринео разумевању електричних појава. Он је пажљиво проучавао течење електричне струје кроз различите проводнике и први експериментално утврдио математичку везу између електричног поља у проводнику израженог преко пада напона, јачине струје и електричног отпора – везу која је данас позната као Омов закон. Његова открића омогућила су правилно пројектовање електричних кола и уређаја, а у његову част основна мерна јединица за електрични отпор носи име ом (Ω).

ЗА

5+

Јачина електричне струје I представља количник количине наелектрисања q које пролази кроз попречни пресек проводника за одређени временски интервал t . Јачину струје можемо израчунати формулом:

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



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта је електрична струја?
2. Која је разлика између топлотног и усмереног кретања електрона?
3. Који смер узимамо за смер електричне струје?
4. Наведи два уређаја који раде на једносмерну и два који раде на наизменичну струју.
5. Наведи два примера течења струје кроз гасове.



ЗАПАМТИ

- У одсуству електричног поља, наелектрисања у проводнику се крећу хаотично.
- Када се на крајевима проводника створи електрично поље, наелектрисања се крећу усмерено.
- У струјном колу електрони се крећу од позитивног ка негативном полу извора.
- Технички смер струје је узет по договору и то је смер течења од позитивног ка негативном полу извора.
- Електрична струја може бити једносмерна и наизменична.

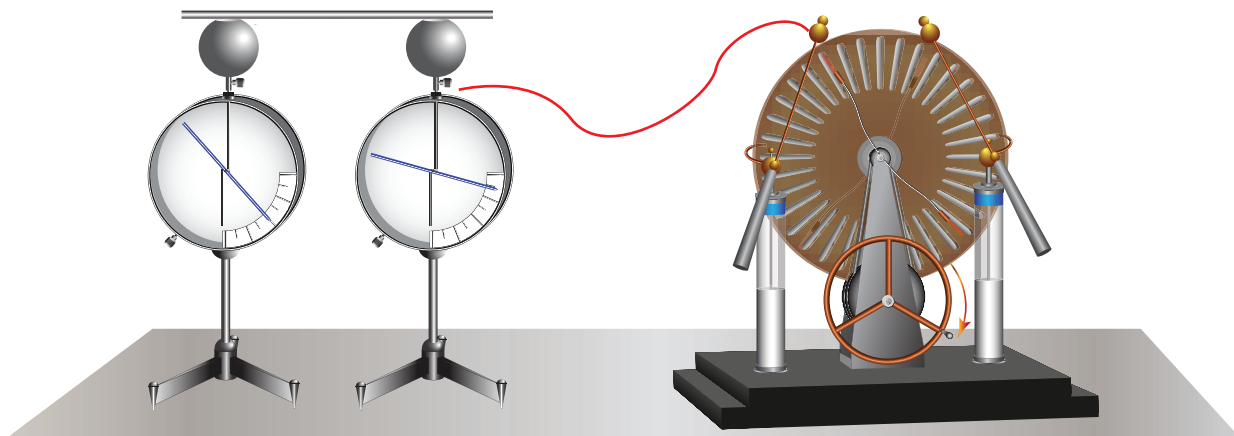
3.5. ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

ПОЈМОВИ

електрични извор

галански елемент

У претходној лекцији разматрали смо протицање електричне струје кроз металну шипку након повезивања електрометара који су били разноимено наелектрисани. Међутим, протицање струје је било краткотрајно, што се може приметити по томе што се казаљка електрометра одмах спустила у положај који показује да електрометар није наелектрисан. Вишак негативних наелектривања са једног електрометра брзо је прошао кроз металну шипку на други електрометар. Након прерасподеле наелектривања, нема електричног поља у проводнику, након чега струја престаје да тече. Ако на једном крају металне шипке нема вишка наелектривања, онда нема шта да ствара то поље. Када постоји електрично поље у проводнику, оно омогућава кретање наелектривања са једног на други крај проводника.



Слика 1. Стварање сталног електричног поља помоћу инфлуентне машине

Да би електрична струја наставила да тече кроз проводник, потребно је одржавати стално електрично поље. Један начин да се то постигне је да на један електрометар стално доносимо електрично наелектривање. На пример, да повежемо један електрометар са једним крајем инфлуентне машине. Окретањем ручице машине стварамо електроне који се преко проводника преносе на други електрометар и струја стално тече. Заправо, на тај начин механички рад претварамо у електричну енергију. Инфлуентна машина служи само за демонстрацију стварања електричног поља и струје, али није практичан извор електричне струје.

У стварности, да би се одржало протицање струје, користимо уређаје у којима је складиштена хемијска енергија. Такви уређаји, повезани у струјно коло, омогућавају да струја стално тече. Такав уређај се назива електрични извор, односно извор електричне струје. У сваком електричном извору, нека врста енергије се претвара у електричну енергију. То претварање може бити из механичке у електричну, из топлотне у електричну, из светлосне у електричну, из хемијске у електричну и слично.

Галвански елемент

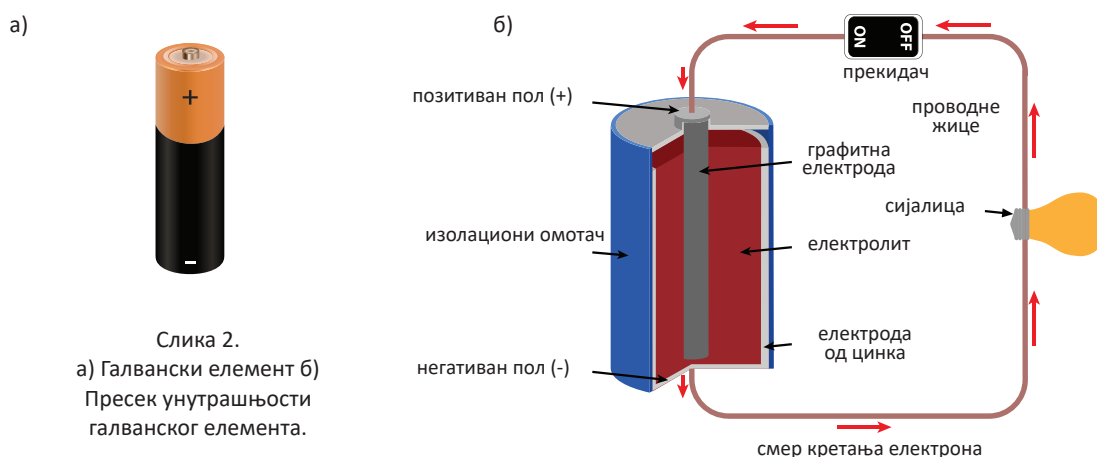
Батерије су део наше свакодневице. Има их код даљинског управљача, миша од компјутера, зидног сата, код многих дечијих играчака, у мобилном телефону, компјутеру, електричном тротинету, електричном аутомобилу, роботима и у многим другим уређајима.

У природи постоји само неколико извора електричне струје, као што су, на пример, муња и неке подводне животиње, као што је електрична јегуља. Али, за човека су ови извори недоступни, краткотрајни и непрактични за коришћење. Зато је потреба за изворима струје, које је направио човек, била очигледна. Први успешни покушаји су повезани са радом двојице италијанских научника Луиђија Галванија и Алесандра Волте у другој половини 18. века. Током времена, извори једносмерне струје су побољшани, али основни принцип је остао исти, а то је претварање хемијске енергије у електричну енергију. Заједничким именом, такве изворе називамо галвански елементи или хемијски извори струје.

Галвански елемент је уређај у којем се хемијска енергија спонтано претвара у електричну енергију. Другим речима, то је извор електричне струје који ради захваљујући контролисаним хемијским реакцијама између различитих супстанци.

На Слици 2 је приказан галвански елемент (електрохемијска ћелија) који најчешће има цилиндричан облик. Галвански елемент је уређај који служи као извор једносмерне електричне струје, а његова конструкција је таква да омогућава да се одвијају хемијске реакције. Он има **два пола: позитиван и негативан**. У најчешће коришћеним галванским елементима, спољашња метална кутија је израђена од цинка и она је негативна електрода, а у средини батерије се налази угљенична (графитна) шипка која служи као позитивна електрода. Између две електроде се налази електролит који омогућава проток јона. Ови делови заједно омогућавају хемијске реакције без да дође до директног контакта електрода. Сваки галвански елемент је са спољашње стране обмотан изолационим материјалом.

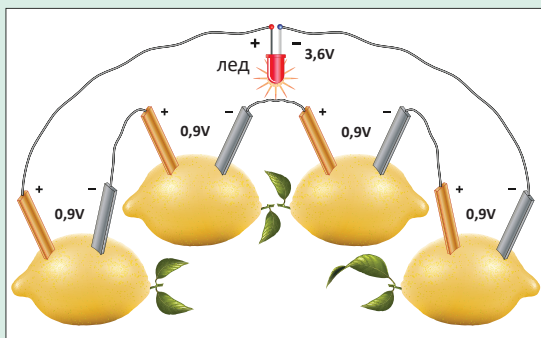
Када је галвански елемент повезан у струјно коло, у електролиту започиње хемијска реакција, при чему цинк (негативна електрода) ослобађа **електроне**.



Ови електрони не могу да прођу кроз унутрашњост батерије, па се затоа крећу кроз струјно коло, односно од негативног ка позитивном полу, притом преносећи енергију потрошачу који је повезан у коло. У исто време, електролит омогућава унутрашње кретање јона (атома из којих су се ослободили електрони), чиме се затвара коло и унутар галванског елемента се омогућава несметано течење струје у струјном колу. Тако, галвански елемент ствара сталан проток електрона све док има довољно хемијске енергије да се ослобађају електрони из атома у електролиту. Када у галванском елементу више нема хемијске енергије, кажемо да се испразнио.



АКТИВНОСТ



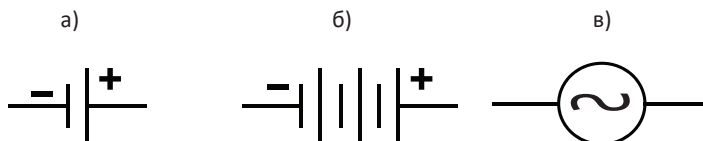
1. Поделите се у групе. Свака група има по неколико ЛЕД-светиљки различитих боја, 4 лимуна, 4 бакарне и 4 цинкове плочице, као и проводне жице. Од ових материјала свака група треба да направи батерију, односно систем од четири галванска елемента повезана редно. Електрична шема повезивања кола дата је на слици. Овакав систем представља извор 0,9V струје и ЛЕД-светиљка ће светлети. Истражите зашто кроз овако састављено коло тече електрична струја. У коло повежите различит број лимунова. У ком случају ЛЕД-светиљка светли најјаче?

Галвански елемент и батерија

Извор струје који садржи два или више повезаних галванских елемената назива се **батерија**. Сигурно примећујете да појмови које користимо у научној терминологији и они у свакодневном говору понекад немају исто значење. На пример, за један галвански елемент од 1,5 V, ми неодговарајуће користимо назив батерија. На Слици 3а дат је симбол за галвански елемент као извор једносмерне електричне струје, на Слици 3б дат је симбол за батерију, односно систем од два или више галванских елемената повезаних серијски, и на Слици 3в дат је симбол за извор наизменичне струје.

Данас је развој батерија у пуном јеку. Многи научници раде на стварању батерија које ће моћи да складиште велике количине електричне енергије у облику хемијске енергије. Потребна за таквим батеријама произилази из све већег коришћења соларне енергије за производњу електричне енергије. Соларни панели производе електричну енергију током дана, која ако се складишти у виду хемијске енергије у батеријама, моћи ће да се користи и током ноћи.

Слика 3. а) Симбол којим се означава галвански елемент
б) Симбол за батерију в) Симбол за извор наизменичне струје.



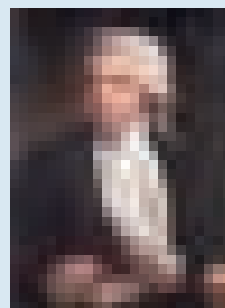
Додатно се истражују и нове супстанце за производњу батерија које неће загађивати природу. Део батерија које се користе данас садржи отровне супстанце, па зато њихово прекомерно коришћење и неодговарајуће одлагање у отпад, може имати штетне последице по здравље човека. Зато, батерије никада не треба расклапати, ни када су празне, а увек када се потроше, треба их одлагати у посебне контејнере намењене за батерије.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Луиђи Галвани (Luigi Galvani 1737–1798)

Галвани је био италијански лекар, анатом и природњак који је одиграо кључну улогу у откривању физиолошког дејства електричне струје. Радећи као професор анатомије у Болоњи, Галвани је изводио експерименте са мишићима и нервима код жаба и приметио да се њихови мишићи грче када се додирују металним предметима. Он је закључио да у живим организмима постоји посебна врста електрицитета, коју је назвао „животна електрична енергија“, сматрајући да нервни систем ствара и преноси електричне сигнале. Иако је касније Алесандро Волта другачије објаснио улогу извора електричне струје у овим експериментима, рад Галванија био је пресудан за развој електрофизио-логије – науке која проучава електричне појаве у живим ткивима.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Сматра се да је први електролитни галвански елемент у историји направљен у древном Вавилону. „Багдадска батерија“ је археолошки артефакт стар 2.000 година, за који се сматра да је био први извор електричне струје који је направио човек.

ЗА 5+

У галванском елементу се ствара електромоторна сила (ЕМС) – физичка величина која карактерише способност извора да покреће електрична наелектрисања. Ова величина је записана на сваком галванском елементу и изражава се у волтима (V). Истражи која је веза између електромоторне силе извора и јачине струје у струјном колу.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Зашто је струја која тече између два електрометра краткотрајна?
2. Зашто је у струјном колу потребан извор електричне струје?
3. Која је улога електролита код галванског елемента?
4. Која је разлика између галванског елемента и батерије?
5. Наведи два примера извора једносмерне струје.



ЗАПАМТИ

- Извор електричне струје је уређај који омогућава да струја стално тече кроз коло.
- Галвански елемент је уређај у којем се хемијска енергија претвара у електричну енергију.
- Галвански елемент је извор једносмерне струје.
- Батерија је систем од два или више галванских елемената.

3.6. ПРОВОДНИЦИ, ПОЛУПРОВОДНИЦИ И ИЗОЛАТОРИ

ПОЈМОВИ

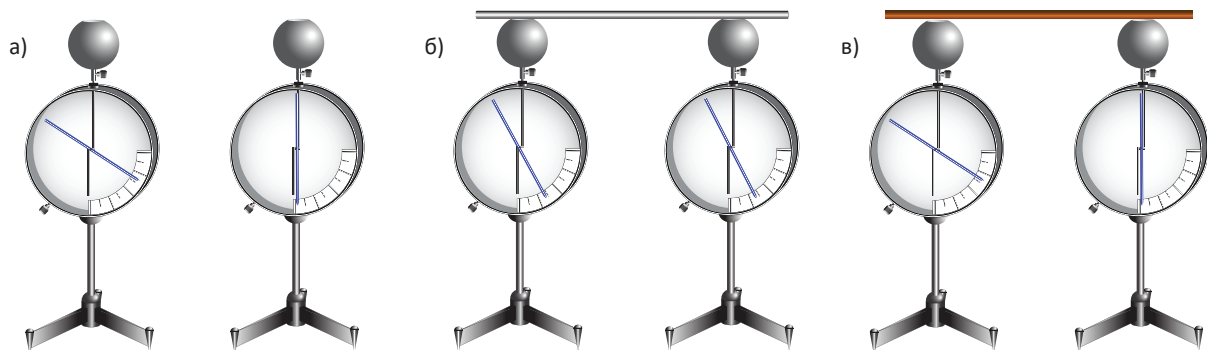
проводник

галански елемент

изолатор

Различите супстанце имају различита физичка својства која зависе од хемијског састава, унутрашње структуре и веза између атома. Једно од најважнијих својстава супстанци је њихова способност да проводе наелектрисања.

Ако наелектришемо електрометар и металном шипком га спојимо са другим ненаелектрисаним електрометром, приметимо да ће се отклон казаљке на првом електрометру смањити, а отклон казаљке на другом електрометру повећати, као што је приказано на Слици 1. Ако је први електрометар био негативно наелектрисан, тада ће део тих електрона, преко металне шипке, прећи на други електрометар. Ако је, први електрометар био позитивно наелектрисан, део слободних електрона са другог електрометра ће прећи на први. И у оба случаја кажемо да тече електрична струја кроз метал. Ако поновимо експеримент, али спајајући сада електрометре дрвеном или пластичном шипком, видећемо да се други електрометар не наелектрише, што значи да кроз ове материјале не тече електрична струја.



Слика 1. а) Наелектрисан и ненаелектрисан електрометар б) Слободни електрони се усмерено крећу кроз металну шипку в) Кроз пластичну шипку нема усмереног кретања електрона.

Према електричној проводљивости, супстанце се деле на **проводнике**, **полупроводнике** и **изолаторе**.

Проводници и изолатори

Проводници су супстанце које проводе електричну струју. Такви су метали који имају велики број слободних електрона и добро проводе електричну струју. Најбољи проводници од метала су сребро, злато и бакар. Код металних проводника, преносиоци наелектрисања су слободни електрони. Метали имају кристалну структуру. Неки електрони, посебно они који су даље од језгра, нису везани чврсто за језгро.

То значи да у чворовима кристалне решетке постоје позитивни јони, односно атоми којима недостаје један или више електрона. Ти електрони се понашају као слободни и могу се кретати између атома. Када се на крајевима металног проводника створи електрично поље, слободни електрони у металу почињу усмерено да се крећу.

Проводници су и електролити, односно раствори соли, база и киселина, при чему су носиоци наелектрисања позитивни и негативни јони. Јони код електролита настају као резултат међудејства између честица воде и растворене супстанце у води.

Гасови у нормалним условима нису проводници, али у њима се могу створити слободни електрони и позитивни јони, чијим усмереним кретањем може тећи електрична струја кроз гасове.

Изолатори, као што су пластика, гума, порцелан, керамика, стакло, папир и суво дрво, не проводе електричну струју. У њима нема слободних преносилаца наелектрисања. Такве супстанце, чак и ако имају слободна наелектрисања (на пример, ако смо их наелектрисали трењем), не могу слободно да се крећу. Изолатори су и гасови, као и ваздух у нормалним условима. Ипак, треба напоменути да при јаким електричним пољима или уколико се гасови доведу до високе температуре кроз њих може да тече електрична струја.



Слика 2. Проводне жице које се користе у електротехници израђене су од метала (најчешће од бакра) и споља су изолиране изолатором.

Полупроводници

Неке супстанце под одређеним условима могу да се понашају као изолатор, а под другим условима као проводник. На пример, суво дрво је изолатор, али влажно дрво може да буде проводник. Стакло при нормалним условима је изолатор, али при високој температури се понаша као проводник. Због оваквих промена при спољашњим условима, не можемо да повучемо оштру границу између проводника и изолатора. При повољним спољашњим условима, код одређених супстанци може да се повећа број слободних носилаца наелектрисања.



Слика 3. Флуоресцентне светиљке, опште познате као „неонке“, су извори светлости, при чему електрична струја тече кроз разређен гас.

Полупроводници, као што су силицијум и германијум, имају електричну спроводљивост, која зависи од температуре, од примеса (или нечистоћа) у њиховом саставу, па имају велику примену у електроници. Ове супстанце су изолатори при ниској температури, али њихова спроводљивост се повећава са повећањем температуре, јер се на тај начин повећава број слободних носилаца наелектрисања. Полупроводници су основа индустријске електронике, аутоматике и роботике. Полупроводнички уређаји

(дионе, транзистори, интегрисана кола) имају малу потрошњу енергије, а основни су део готово сваког електричног уређаја.



Слика 4. Полупроводнички струјни елементи: диоде, транзистори и интегрисана кола.



АКТИВНОСТ

1. Изолатор или проводник

Материјале које видиш у својој учионици, подели на проводнике и изолаторе. Упореди своје резултате са резултатима које су добили други ученици. У којим електронским уређајима које има у учионици сматраш да има полупроводника. Дискутуј о свом одговору.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Ако је метал добар електрични проводник, најчешће је и добар топлотни проводник.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Вилијам Шокли (William Shockley 1910–1989)

Шокли је био амерички физичар и инжењер који је направио револуцију у свету електронике. Заједно са Џоном Бардином и Волтером Братеном, он је створио први транзистор 1947. године, који представља мали полупроводнички уређај који може да појачава или да укључује/искључује електричну струју. Ова иновација је заменила велику, брзо кварљиву и енергетски неефикасну електронску цев која се дотад користила у радио-апаратима и електронским уређајима. За њихов заједнички рад, Шокли и његове колеге добили су Нобелову награду за физику 1956. године, што је представљало признање за један од најважнијих проналазака

20. века. Утицај транзистора је огроман: он је основни градивни елемент у интегрисаним колима, микрочиповима и процесорима које данас користимо у сваком компјутеру, мобилном телефону, калкулатору, роботу или паметном уређају.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта су проводници и где се користе?
2. У којим случајевима изолатор може да постане проводник?
3. Зашто је ваздух у нормалним условима изолатор?
4. Зашто кажемо да је муња протицање струје кроз гас?
5. Зашто су важни полупроводници?



ЗАПАМТИ

- Супстанце које добро преносе електричну струју називају се електрични проводници.
- Супстанце које не преносе електричну струју називају се електрични изолатори.
- Полупроводници су супстанце код којих се при одређеним спољашњим условима може повећати број слободних носилаца наелектрисања.

3.7 МЕРЕ ЗАШТИТЕ ПРИ КОРИШЋЕЊУ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

ПОЗМОВИ

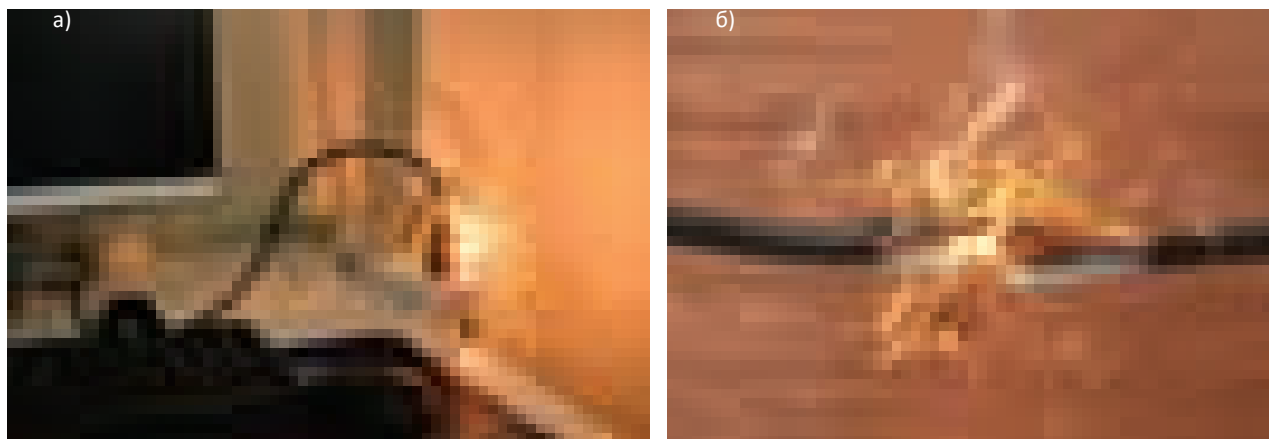
струјни удар

кратак спој

Електрична струја има велико значење у домаћинствима, индустрији, здравству и у комуникацијама. Она омогућава осветљење, грејање, рад електричних апарата и развој савремене технологије. Међутим, иако је веома корисна, електрична струја може бити и опасна уколико се не користи правилно. Због тога, треба поштовати одговарајуће мере заштите при њеном коришћењу.

Заштита при коришћењу електричне струје

Највећа опасност од електричне струје је струјни удар, који може изазвати озбиљне повреде, опекотине, па чак и смрт. При струјном удару електрична струја пролази кроз људско тело. Струјни удар може настати при додиру оштећених електричних уређаја, неизолованих проводника или при коришћењу електричних апарата у влажној средини. Осим тога, неправилном употребом електричне струје могу настати и пожари. Узроци могу бити различити. На пример, **кратак спој** настаје када два проводника повезана са два пола извора дођу у директан контакт без да буде повезан неки потрошач



Слика 1. а) Кратак спој услед преоптерећености електричне инсталације.

б) Кратак спој као резултат изолационог материјала којим су обложени проводни каблови.

између њих. Кратак спој може настати и ако дође до додира два проводника повезана са два пола извора услед оштећења изолационог материјала којим су обложени. У таквим случајевима долази до протикања веома велике струје, при чему се могу запалити заштитни изолациони слојеви проводника. Други узрок пожара може бити преоптерећење електричне инсталације, односно услед укључивања много потрошача истовремено на исти прикључак или на исти продужни кабл.

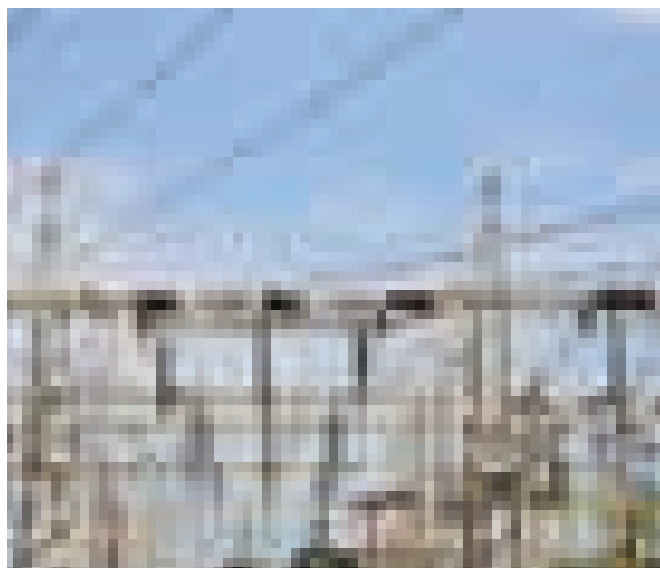
Једна од најважнијих мера заштите је добра изолација електричних про-водника. Проводне жице треба да буду обложене изолационим материјалима који спречавају директан додир са металом. Такође, у електричним инсталацијама се користе осигурачи и аутоматски прекидачи који прекидају струју у случају преоптерећења или кратког споја. Веома важна мера заштите је уземљење. Уземљењем се метални делови електричних уређаја повезују са земљом, чиме се омогућава да се, уколико кроз уређај протече велика струја, она спроведе у земљу и спречи струјни удар.



Слика 3. Упозоравајући знак за подручје где је могућа појава струјног удара (уобичајено у близини далековода, великих трансформатора, железничких пруга).



Слика 2. Осигурачи – аутоматски прекидачи електричне струје при краткој споју у домовима.



Слика 4. Ризик од струјног удара на местима са великим бројем далековода је веома велики и забрањено је кретање у тим областима.

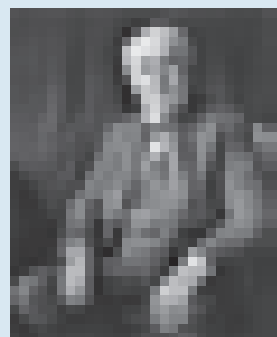
При коришћењу електричних уређаја у домаћинству, неопходно је поштовати одређена правила. Не треба додиривати електричне уређаје влажним рукама, нити их користити у близини воде. Оштећене каблове и прикључке не треба употребљавати и одмах их треба заменити, а апарате увек искључивати из струје када се не користе или када нисмо код куће. Није дозвољено преоптерећење прикључака укључивањем превише уређаја, јер то може изазвати прегревање и пожар.

Лица која раде са електричним инсталацијама и уређајима морају користити заштитну опрему, као што су изолационе рукавице, гумена обућа и одговарајући изоловани алати. Пре сваке интервенције или поправке електричног уређаја, обавезно је искључивање из извора струје и провера да ли заиста нема струје. Рад са електричним инсталацијама и поправку електричних уређаја обавезно треба да обављају само стручно обучена лица.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Томас Едисон (Thomas Edison 1847–1931)

Едисон је био амерички проналазач који је имао огроман утицај на развој електричних система. Он је усавршио електричну сијалицу и створио први практичан систем за дистрибуцију електричне енергије у градовима. Тако је електрична струја безбедно могла да се користи у домовима и у радионицама, што је представљало прекретницу у свакодневном животу. Такође, Едисон је развио осигураче, прекидаче и стандарде за заштиту од струјног удара и од пожара. Његов рад је довео до стварања првих електричних кућних инсталација са јасним безбедносним правилима.



АКТИВНОСТ

1. Опасности од струјног удара

Анализирај неколико свакодневних ситуација: коришћење фена за косу у купатилу, додиривање утичнице влажним рукама, коришћење оштећеног продужног кабла. За сваку ситуацију дискутуј са саученицима, да ли постоји опасност од струјног удара и зашто. Које мере предострожности треба предузети да би се избегао струјни удар у наведеним ситуацијама?



ЗАНИМЉИВОСТИ

Птице могу да се одмарају на електричним кабловима без да доживе струјни удар све док су им обе ноге на једном електричном каблу.

ЗА



Људско тело садржи велику количину воде и растворених соли, па може да проводи електричну струју. Када струја пролази кроз тело, она може да изазове грчеве мишића, поремећај рада срца и оштећење нервног система. Истражи о електричној проводљивости људског тела, као и о раду дефибрилатора који струјним ударом може да врати нормалан рад срца код пацијената са срчаним застојем.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Како кратак спој може да изазове пожар?
2. Какву улогу има изолација електричних жица?
3. Зашто уземљење штити људе од струјног удара?
4. Зашто не треба повезивати много потрошача на исти продужни кабл?
5. Какву опрему треба да носе радници који врше поправку електричних уређаја или електричних инсталација?



ЗАПАМТИ

- Струјни удар настаје када електрична струја пролази кроз људско тело.
- Кратак спој изазива течење веома велике струје и може довести до пожара.
- Изолација, осигурачи и уземљење су основне мере заштите.

3.8. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА КРОЗ ТЕЧНОСТИ

ПОЈМОВИ

електролитичка
дисоцијација

анјон

анода

катода

електролит

јон

електрода

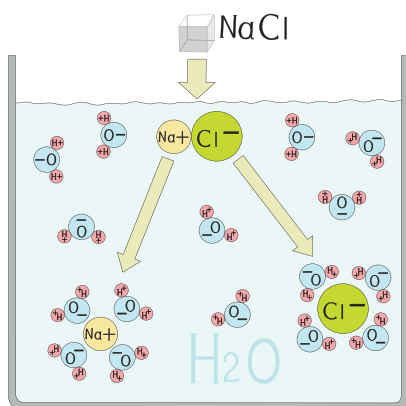
катјон

электролиза

гальванизација

Електрична струја може да тече и кроз течности, са том разликом што су у течностима носиоци наелектрисања **позитивно наелектрисани јони (катјони)** и **негативно наелектрисани јони (анјони)**.

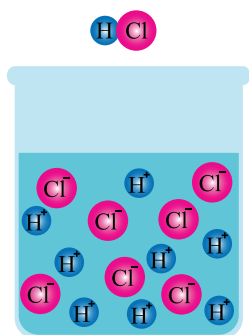
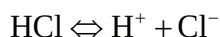
Неке од чистих течности, као што је дестилована вода, су изолатори, а течности које могу да проводе електричну струју су водени раствори соли, база и киселина. Водени раствор соли, базе или киселине назива се електролит. При растварању соли, базе или киселине у води, растворена супстанца се разлаже на јоне. Тај процес се назива **електролитичка дисоцијација**.



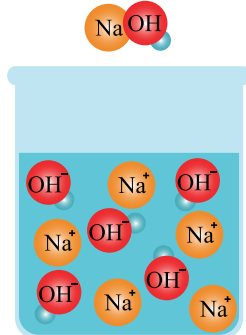
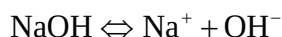
1. Електролитичка дисоцијација честице натријум-хлорида у води.

На пример, ако се у воду стави кухињска со (натријум-хлорид, NaCl), тада со дисоцира на позитивне јоне натријума и негативне јоне хлора. На Слици 1 је приказана електролитичка дисоцијација честице натријум-хлорида. Кретање јона у раствору је хаотично.

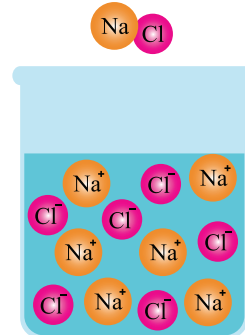
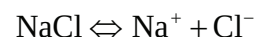
Такође, базе и киселине у води дисоцирају на јоне. Испод су дате хемијске једначине за електролитичку дисоцијацију хлороводоничне киселине (HCl), натријум-хидроксида (NaOH), што представља базу, и натријум-хлорида (NaCl), што је со.



киселина



база



со

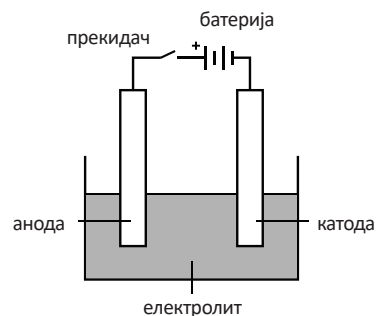
Слика 2. Електролитичка дисоцијација киселине, базе и соли у води.

Раствор који садржи јоне – **електролит** - може да проводи електричну струју. Колико више јона има у датом електролиту, толико боље ће проводити струју.

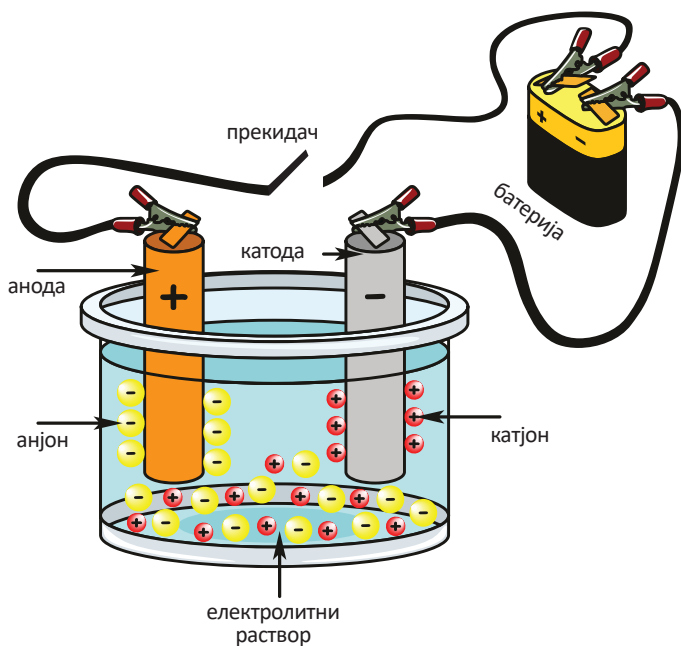
На пример, морска вода због присуства више минерала и соли који стварају јоне, проводи струју боље у поређењу са водом из чесме.

У суд у којем има електролит да ставимо две металне или графитне шипке (Слика 3. (шипке не смеју да се додирују). Шипке повежемо у струјно коло са извором струје (батерија) и прекидачем. Овако постављене шипке у електролиту називају се **електроде**.

Електрода која је повезана на позитиван пол батерије назива се **позитивна електрода (анода)**, а електрода повезана на негативан пол батерије је **негативна електрода (катода)**. Ако затворимо спољашњи део струјног кола, тада ће се између електрода у електролиту створити електрично поље. Под дејством тог поља **позитивни јони (катјони)** се крећу ка катоди, која је негативно наелектрисана (има вишак електрона), а **негативни јони (анјони)** се крећу ка аноди. То представља електричну струју кроз течности, односно усмерено кретање позитивних и негативних јона у електричном пољу. Смер струје, као и код металних проводника, по договору се узима од позитивног ка негативном полу извора. Када јони стигну до електрода, они ће се неутралисати. Позитивни јони ће примити електроне од катодe, а негативни јони ће јој дати електроне на аноди. Добијене честице могу се наталожити на електродама или учествовати у другој (секундарној) реакцији са електродом или са електролитом. На катоди се најчешће издвајају метални јони или водоник, а на аноди могу се издвајати неметали или кисеоник, у зависности од врсте електролита. Овакво усмерено кретање јона у електролиту представља електричну струју у течности (Слика 4).



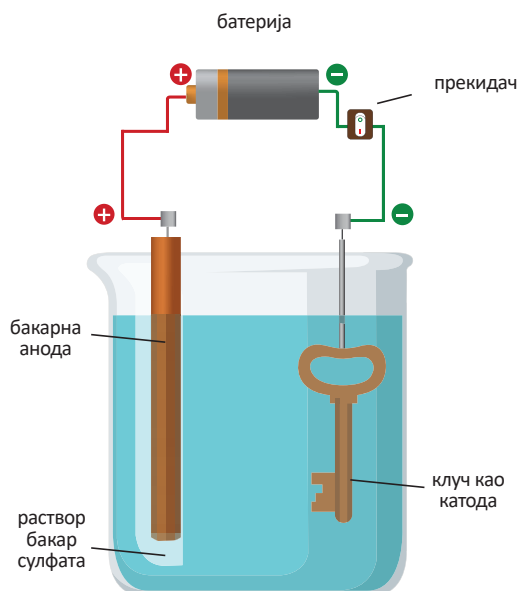
Слика 3. Протицање струје кроз електролит.



Слика 4. Протицање електричне струје кроз електролит.

При протицању електричне струје кроз електролит, осим електричног, јавља се и хе-мијско дејство струје. Ово дејство се назива електролиза. За време електролизе на електродама се одвијају хемијске реакције при којима се одређене супстанце издвајају или талоче. Тако, електролизом хлороводоничне киселине на катоди се издваја водоник, а на аноди хлор. Електролизом бакар сулфата ($\text{CuSO}_4 \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$), на катоди се талочи бакар, а на аноди, ако је она од бакра, долази до формирања нових честица бакар сулфата, односно кажемо да се анода раствара.

Важна практична примена електролизе је галванизација. **Галванизација** је процес при којем се на површину једног метала наноси танак слој другог метала помоћу електричне струје. Галванизација се користи за заштиту метала од корозије, за добијање декоративног ефекта и за повећање њихове чврстоће. На пример, гвоздени предмети се облажу цинком да не би рђали или хромом да би били сјајни. Предмет који желимо да обложимо повезује се као катода, а метал којим се врши облагање повезује се као анода. Обе електроде се потапају у електролит који садржи јоне истог метала којим желимо да облажемо. Када кроз раствор протече електрична струја, јони метала са аноде крећу се ка катоди и таложе се на њеној површини, стварајући заштитни или декоративни слој. На слици 5 приказана је галванизација кључа бакром. Кључ је повезан као катода, док је анода бакарна плочица. Обе електроде су потопљене у бакар сулфат. Позитивни јони бакра са аноде таложе се на кључу, чиме се кључ облаже слојем бакра.



Слика 5.
Галванизација бакром.

Електролиза се користи и за добијање важних супстанци – на пример, из слане воде електролизом се добијају хлор и натријум хидроксид, супстанце које су основа многих индустријских процеса. У производњи алуминијума електролиза је једини начин да се добије метал из његове руде. Од акумулатора у аутомобилима, па све до литијум-јонских батерија у мобилним телефонима, електролит је део који омогућава складиштење хемијске енергије, а затим и усмерено кретање носилаца наелектрисања.



АКТИВНОСТИ

1. Протицање електричне струје кроз електролит

У стаклену чашу стави дестиловану воду. У воду потопи две графитне или металне електроде које ћеш повезати са батеријом, прекидачем и малом сијалицом. Да ли сијалица светли када је прекидач укључен. Шта ћеш закључити о протицању струје кроз дестиловану воду. Затим, уместо у дестиловану воду, додај мало обичне соли и измешај кашичицом. Укључи прекидач. Да ли сијалица светли? Шта ћеш закључити из светљења сијалице о протицање струје кроз раствор?

2. Побакривање предмета

Потопи метални предмет (на пример, кључ) повезан као катода и парче бакра као анода у раствор бакар-сулфата. Електроде повежи у струјно коло са батеријом и прекидачем. Укључи струју прекидачем и остави је да тече у колу 20 минута. Шта примећујеш? Да ли се на кључу наталожио бакар? За шта може да се искористи галванизација?

ЗА 5+

Маса наталоженог метала m на катоди је пропорционална јачини струје I и времену током којег се врши галванизација. Она се може израчунати према формули: $m = k \cdot I \cdot t$, где је k константа пропорционалности која има различиту вредност за различите растворене супстанце.

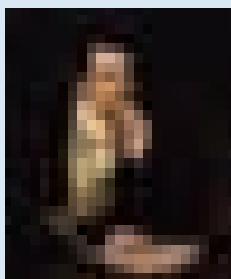


ЗАНИМЉИВОСТИ

Галванизација је откривена у XIX веку.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Хамфри Дејви (Humphry Davy, 1778–1829)

Хамфри Дејви је био енглески хемичар и физичар, један од пионира електрохемије и експерименталне примене електролизе. Он је први показао да се електрична струја може користити за разлагање једињења на њихове основне компоненте. Применом електролизе, Дејви је успео да изолује неколико нових хемијских елемената, међу којима натријум, калијум, калцијум, магнезијум и баријум – метале који су до тада били непознати у чистом облику. Својим радом је показао да се хемијске везе могу прекинути електричном струјом, што је био кључни корак у разумевању електролизе као процеса. Дејвијева истраживања су поставила основу за развој индустријске електролизе и снажно утицала на даљи рад Мајкла Фарадеја, који је био његов ученик.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта су електролити и зашто могу да преносе електричну струју?
2. Како се зову електроде повезане са позитивним и негативним полом извора струје?
3. Ако желимо да извршимо побакривање металног предмета, где треба да поставимо тај предмет (на аноду или на катоду) и зашто?
4. Зашто електрична струја кроз течности представља везу између физике и хемије?
5. Шта ће се десити са процесом електролизе ако уместо једносмерне струје (из батерије) употребимо наизменичну струју из утичнице? Да ли јони могу трајно да се таложе на једној електроди?



ЗАПАМТИ

- Процес стварања слободних електричних наелектрисања (позитивни и негативни јони) у раствору назива се електролитичка дисоцијација.
- Течност која садржи јоне и проводи електричну струју је електролит.
- Позитивни јони (катјони) у затвореном струјном колу крећу се ка негативној електроди (катоди).
- Негативни јони (анјони) у затвореном струјном колу крећу се ка позитивној електроди (аноде).
- Процес разлагања супстанци помоћу електричне струје познат је као електролиза.
- Галванизација је технолошки процес облагања металног предмета другим металом.

3.9. СТРУЈА КРОЗ ГАСОВЕ И ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЈАВЕ У АТМОСФЕРИ

ПОЈМОВИ

јонизација

јонизатори

слободни
електрони

јони

муња

гром

громобран

Струја кроз гасове

Електрична струја може да тече кроз чврсте супстанце, као што су метални проводници, и кроз течности (електролите). Носиоци наелектрисања код метала су слободни електрони, а код електролита јони. Али, да ли струја може да тече и кроз гасове?

Познато је да су гасови изграђени од молекула и атома који су електронеутрални. Другим речима, гасови не садрже слободне носиоце наелектрисања. Зато, при нормалним условима, кроз њих не тече струја. Овај закључак је у складу и са нашим искуством. Наиме, ако у неком делу струјног кола постоји прекид, тада кроз њега не тече струја. Где год да настане прекид, простор између два контакта је испуњен ваздухом који је добар изолатор.

Слично ваздуху, сви гасови при нормалним условима су изолатори. Ипак, могући су и такви услови при којима ће се у гасу створити слободни носиоци наелектрисања. Све што је потребно је да има довољно енергије да се из неутралних атома или молекула избаце електрони. Атом или молекул из којег је откинут електрон, постаје позитиван јон. Али, електрон може да се придружи неутралном атому или молекулу и тако да се добије негативан јон. На тај начин се добијају **јони и слободни електрони**. Тај процес добијања јона и електрона из неутралних атома или молекула назива се јонизација. Енергија за јонизацију може да се добије загревањем гаса на високу температуру, при зрачењу велике енергије која пролази кроз гас, јаким електричним пољем, сударима са брзим честицама и слично. Сваки уређај или извор који обезбеђује енергију потребну за јонизацију гасова назива се **јонизатор**.



АКТИВНОСТ

1. Термички јонизатор

Наелектриши електроскоп негативним наелектрисањем. У близини главе електроскопа приближи упаљену свећу. Полако и пажљиво дувај у свећу (без да је угасиш) тако да се пламен усмери ка глави електроскопа. Посматрај шта се дешава са отклањањем казaljке електроскопа? Објасни експерименталну чињеницу коју си забележио. Сада размисли шта ће се десити са отклањањем електроскопа ако је он уместо негативним био наелектрисан позитивним наелектрисањем?



Ваздух постаје проводник термичком јонизацијом.

У Активности 1, због високе температуре пламена, ваздух у његовој близини је јонизован. У том простору близу главе електроскопа има јона (позитивних и негативних) и електрона. Позитивни јони се привлаче негативним наелектрисањем главе електроскопа, при чему се он разелектрише. Смањење отклона казаљке показује да кроз ваздух тече електрична струја. У другом случају, електроскоп ће се поново разелектрисати. У том случају, негативни јони ће бити привучени ка глави електроскопа, а позитивни ће бити одбијени.

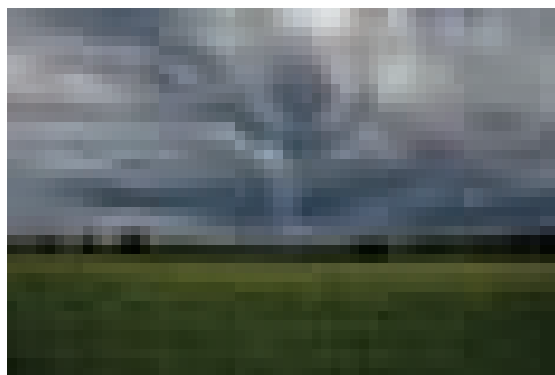
Многи технички уређаји и апарати у свом раду укључују протицање струје кроз гасове. Осветљење домова и институција често се врши путем протицања струје кроз гасове. За ту намену се користе гасови затворени у одговарајуће цеви или светилке у којима је притисак смањен. Такве су рекламне светилке, код којих је боја светлости одређена врстом гаса у цеви, затим „неонске“ светилке, као и штедљиве флуоресцентне светилке.

Електричне појаве у атмосфери

Када је ваздух јонизован, он постаје проводник и кроз њега може да тече струја. На пример, при приближавању куглица електростатичке машине, док окрећемо ручицу којом стварамо наелектрисања, између њих се јављају варнице. То је вештачки створена варница, односно протицање струје у лабораторијским условима. Примери протицања струје кроз гасове у атмосфери су муња, поларна светлост, емисија светлости при вулканској ерупцији.



Слика 1. Електрична варница код инфлуентне машине.



Слика 2. Електрична струја кроз ваздух – муња.

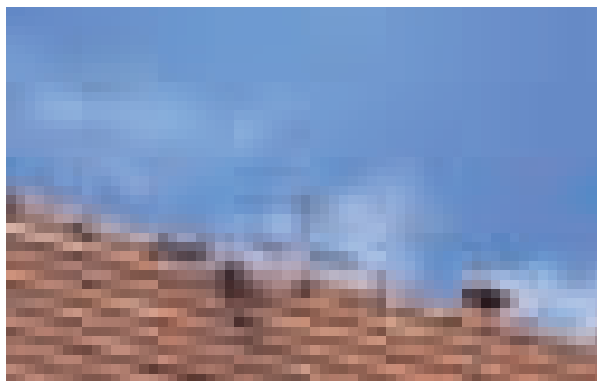
Типичан пример струје кроз гасове у природи је **муња**. Она представља електрично пражњење између облака и Земље или између облака и то траје веома кратко. Струју која протиче кроз ваздух ми видимо као светлу траку, односно као кратак блесак на небу. Та струја загрева ваздух до високе температуре, веће и од температуре површине Сунца. Ваздух се веома брзо загрева и шири и то ствара снажан звук. Тај звук који слушамо након појаве муње назива се **грмљавина**. Електрично пражњење које настаје између

облака и неког објекта на Земљи назива се још и **гром**. Светлост се шири много већом брзином од звука, па зато прво примећујемо муњу, а затим чујемо звук грмљавине.

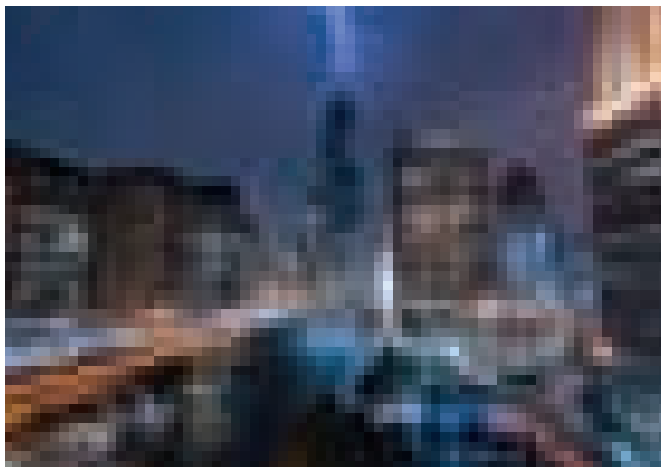
Удар грома и његови ефекти могу бити веома опасни и разорни по човека, животиње и природу. Често од удара на гром настануваат и пожари. Често од удара грома настају и пожари. Зато је човек тражио начин да укроти ову незгодну природну појаву. Бенџамин Френклин је истраживао и открио начин како да се заштитимо од грома. Френклин је открио да струју од грома треба одвести на провод-ник великих димензија, при чему та струја неће много утицати. Такав проводник је Земља. Тиме је дао идеју за **громобран**. То је метална шипка зашиљена на врху и поставља се на врх објекта. Шипка је повезана са металним проводником који води неколико метара у земљу. Такав систем носи струју на безбедан начин до земље, без опасности од пожара или оштећења.

Осим инсталације громобрана, неке од препорука за заштиту од грома у случају невремена укључују:

- Не задржавај се на отвореном простору (поље, брдо, игралиште).
- Избегавај високе и изоловане објекте (дрвеће, стубове).
- Склони се у затворен простор или у возило са металном каросеријом.
- У затвореном простору избегавај додиривање металних предмета, коришћење електричних уређаја и стајање поред прозора, јер се електрична енергија од муње може пренети преко металних делова на електричне и водоводне инсталације у дому.



Слика 3. Громобран постављен на кров.



Слика 4. Удар грома у громобран.



АКТИВНОСТ

1. Истраживање – громобрани у околини

Истражи да ли твоја школа има громобран и зашто је постављен на том месту. Истражи да ли има громобран на твојој кући или згради, као и на којим зградама у околини су постављени громобрани.

ЗА 5+

Место где пролази муња, или како се још назива канал муње, је пример јонизованог гаса, који се у физици назива плазма. Сматра се да је плазма четврто агрегатно стање материје. У плазми постоје слободни електрони и јони, па она одлично проводи електричну струју. Исти овај принцип се користи и у неонским светиљкама, флуоресцентним цевима и у плазма екранима. Истражи где се још користи јонизовани гас у техници.

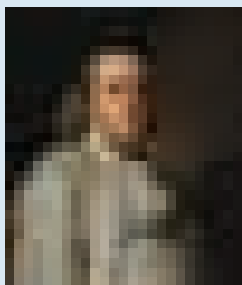


ЗАНИМЉИВОСТИ

Ваздух где пролази муња може да се загреје и до 30000 °C, што је више од 5 пута већа температура од температуре површине Сунца.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Бенџамин Френклин (Benjamin Franklin 1706–1790)

Френклин је био амерички научник, политичар и један од најпознатијих проналазача 18. века. Иако није имао формално научно образовање, Френклин је имао огромну радозналост и експериментални дух, посебно у области електрицитета. Он је први претпоставио да је муња заправо огромна електрична варница у атмосфери. Да би доказао своју идеју, извео је познати експеримент са летећим змајем 1752. године, којим је показао да су облаци наелектрисани. Френклин је конструисао громобран. Овај једноставан, али генијалан уређај спасио је хиљаде живота и објеката, а и данас се користи у истом облику као у време Френклина. Стварањем громобрана, показао је применљивост научних открића у заштити људи.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Када су гасови изолатори, а када проводници електричне струје?
2. Шта је јонизација?
3. Наброј неколико начина како се може изазвати јонизација.
4. Да ли светиљке са влакном раде на основу протицања струје кроз гасове?
5. Након муње, људи очекују звук грмљавине и обично их то плаши. Размисли и објасни да ли након муње има потребе да се плашимо.



ЗАПАМТИ

- При нормалним условима гасови не проводе струју, односно они су изолатори.
- Кроз процес јонизације, гас од изолатора постаје проводник.
- Муња је типичан пример за струју кроз гасове у природи.
- Громобран је метална шипка са шиљком на врху која се поставља на највишу тачку објекта. Она је повезана са металним проводником који води до земље.

10. ЕФЕКТИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

ПОЈМОВИ

светлосно дејство

топлотно дејство

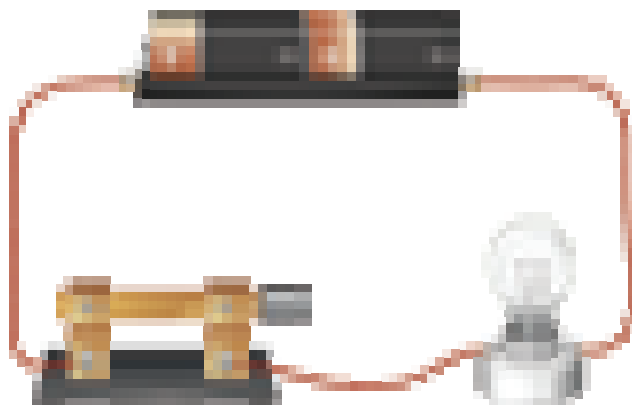
механичко дејство

хемијско дејство

магнетно дејство

Електрична струја је усмерено кретање електричних наелектрисања кроз метални проводник, електролит или гас. Када струја тече кроз различите уређаје и супстанце, изазива низ промена, односно различите **ефекте**. Ефекти електричне струје су појаве, процеси или последице које настају услед њеног протицања. Захваљујући овим ефектима, електрична енергија се претвара у друге облике енергије, што омогућава рад бројних уређаја у свакодневном животу, индустрији, медицини и науци.

У зависности од тога какву промену изазива, разликујемо **светлосно, топлотно, механичко, хемијско и магнетно дејство електричне струје**. Ови ефекти или дејства се не појављују изоловано, већ су тесно повезани и најчешће се појављују истовремено. У једном електричном уређају може се појавити више ефеката одједном, иако је уобичајено један од њих доминантан и сходно томе искоришћен. Сви ефекти протицања електричне струје су у складу са природним законима, а пре свега са Законом о очувању енергије.



Слика 1. Струјно коло за истраживање ефеката електричне струје.

Светлосно дејство електричне струје

Светлосно дејство електричне струје јавља се када протицање струје изазива емитовање светлости, односно када се електрична енергија претвара у светлосну енергију. Овај ефекат је добро је познат из свакодневног живота, јер га најчешће уочавамо код електричних светиљки. Код класичне светиљке са волфрамовим влакном, електрична струја пролази кроз танку жицу.

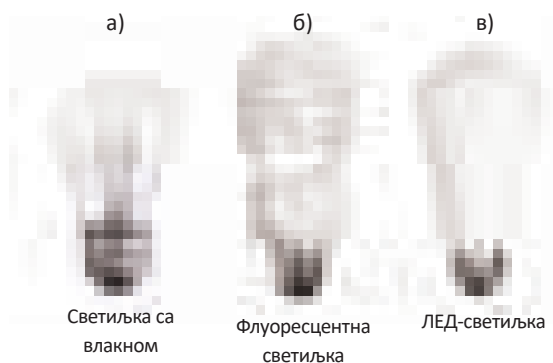


АКТИВНОСТ 1.

1. Истраживање ефекта електричне струје помоћу струјног кола

Подељени у мале групе/парове, повежите елементе у једноставно струјно коло са извором струје (користите батерије од 1,5 V), прекидачем, потрошачем и проводним жицама. Користите различите потрошаче, као што су светиљка, отпорна жица или електромагнет. Уз помоћ чула (око, уво) или помоћу мерног инструмента, истражујте ефекте електричне струје. Дискутујте и изведите закључак о претварању електричне енергије из једног у други вид.

Материјал је тако одабран значајно да се супротставља протицању струје. Због тога се жица загрева до веома високе температуре и почиње да светли. Светлост коју видимо је последица снажног загревања влакна. Овај начин добијања светлости је једноставан, али није много ефикасан, јер се велики део електричне енергије претвара у топлоту, а мањи део у светлост.



Слика 2. Различите врсте светилки а) Светилка са влакном, б) Флуоресцентна светилка и в) ЛЕД-светилка.

Осим класичних светилки, ово дејство електричне струје се користи и код других врста извора светлости, као што су флуоресцентне светилке, неонске светилке, светлосне диоде (лед), ласери и друге врсте. Код светлосних диода светлост настаје као резултат процеса у полупроводничким материјалима, при чему се електрична енергија много ефикасније претвара у светлосну енергију. Светлосно дејство омогућава осветљавање просторија, улица, сигналних уређаја, дисплеја и другог.

Топотно дејство електричне струје

Топотно дејство електричне струје је један од најраспрострањенијих и најважнијих ефеката. Када електрична струја пролази кроз проводник, честице које преносе струју се сударају са атомима и јонима материјала. При тим судирима, део енергије струје се претвара у унутрашњу енергију материјала, односно у топлоту. Као резултат тога, температура проводника се повећава. Топлотну енергију ослобођену у проводнику називамо Џулова топлота. Може се рећи да се топлотно дејство појављује истовремено са свим другим ефектима електричне струје.

Топотно дејство електричне струје има огромну практичну примену. Грејна тела, као што су електрична грејалица, бојлер, шпорет, пегла, фен за косу и многа друга, раде управо на овом дејству. У њима струја пролази кроз проводнике од одабраног материјала који се снажно супротставља протицању струје. Судари носилаца наелектрисања са честицама материјала изазивају његово загревање. Топлота се затим предаје околној средини. Иако је у неким уређајима топлота пожељан ефекат, у другим случајевима она може бити непожељна. На пример, код електронских уређаја, прекомерно загревање може довести до оштећења, па се зато користе хладњаци и вентилатори.

Топотно дејство има и заштитну улогу у електричним инсталацијама. Осигурачи и аутоматски прекидачи су уређаји који користе топлоту која се развија при превеликој јачини струје. Када струја премаше дозвољену вредност, проводник у осигурачу се загрева и топи, чиме се коло прекида и спречавају већа оштећења или пожари.

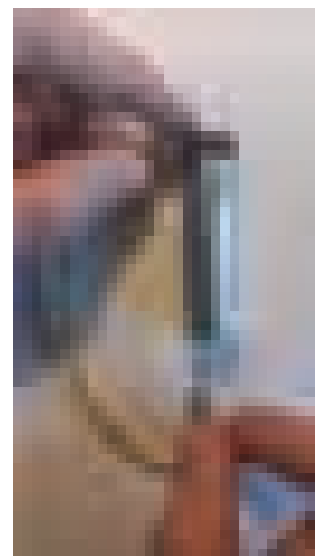


Слика 3. Уређаји који користе топлотно дејство електричне струје (пегла, грејалица и осигурач за прекидање струје).

Механичко дејство електричне струје

Механичко дејство електричне струје се појављује када струја изазива кретање неког уређаја или његовог дела. Овај ефекат се најчешће појављује као последица узајамног дејства између електричне струје и магнетног поља. Када кроз проводник тече струја и он се налази у магнетном пољу, на проводник делује сила која га може покренути. Ова појава је основа за рад електричних мотора.

Електрични мотори су уређаји који претварају електричну енергију у механичку. Они се користе у огромном броју апарата, као што су вентилатори, машине за прање веша, миксери, електрични алати и индустријске машине. У мотору, струја пролази кроз намотаје који се налазе у магнетном пољу. Због силе која се појављује при механичком дејству струје, намотаји почињу да се окрећу. При том кретању електромотори, могу вршити механички рад



Слика 4. Једноставан електрични мотор - пример за механичко дејство струје.



АКТИВНОСТ

2. Једноставан електромотор

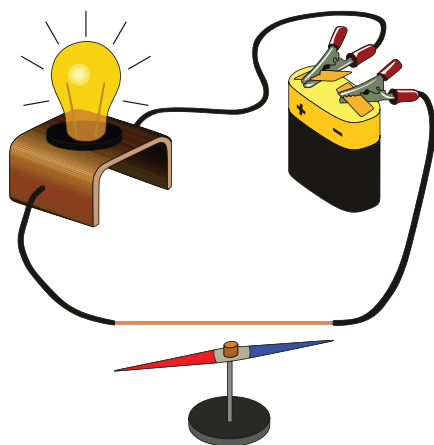
Уз помоћ малог неодимијумског магнета, који ћеш причврстити за негативни пол галванског елемента, проводне жице и металног шрафића, састави електромотор, као што је приказано на слици 4. Дискутуј о механичком дејству струје код овог мотора. Да ли ће мотор радити без коришћења магнета? Истражи и друге варијанте оваквог једноставног мотора.

Хемиско дејство електричне струје

Када електрична струја пролази кроз течности-електролите она може изазвати хемијске промене. Ово се назива **хемијско дејство** електричне струје. Притом, супстанце у раствору се разлажу, а јони се крећу ка електродама.

Хемијско дејство се користи при електролизи и при галванизацији. Преко хемијског дејства електричне струје добијају се чисти хемијски елементи, као што су водоник и кисеоник из воде или алуминијум из његових минерала. Хемијско дејство електричне струје је основа за рад галванских елемената и батерија.

Магнетно дејство електричне струје



Слика 5. Магнетно дејство електричне струје.

Основа **магнетног дејства** електричне струје је откриће данског физичара Ерстеда. Он је пре двеста година утврдио да се око сваког проводника кроз који тече струја ствара магнетно поље. Ово откриће је једно од најважнијих у историји физике, јер показује дубоку везу између електричних и магнетних појава. Магнетно дејство струје има огромно практично значење. Електромагнети, трансформатори, електрични мотори и генератори су уређаји који се темеље управо на овом дејству. Код електромагнета, када кроз калем тече струја, ствара се магнетно поље које се може укључити или искључити по потреби. Ово својство се користи код кранова за подизање металних предмета, код електричних уређаја и код различитих аутоматизованих система. Магнетно дејство има важну улогу и при преносу електричне енергије.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Физиолошко дејство електричне струје је утицај који електрична струја има на органе, ткива и на функције живог организма када прође кроз њега.

ЗА 5+

Пелтијев ефекат је занимљив пример како електрична струја може да изазове и хлађење метала. Истражи како може да се направи Пелтијев модул и како ови модули могу да се користе у малим фрижидерима, расхладним уређајима и код компјутерских процесора за хлађење без коришћења фреона.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Ћовани Алдини (Giovanni Aldini 1762–1834)

Алдини је био италијански физичар. Он је један од првих научника који су систематски проучавали утицај електричне струје на жива ткива и на нервни систем. Алдини је експериментисао са применом електричне струје на мишиће и нерве и открио да чак и мали електрични импулс може да изазове видљиве контракције код мишића. Његове демонстрације, у то време, биле су кључни доказ да електрична енергија може да има директно физиолошко дејство на тело.

Својим истраживањима, Алдини је поставио темеље за развој медицинских уређаја, као што су дефибрилатори, електростимулатори и уређаји за неуродијагностику. Његов рад је допринео дубљем разумевању како електрични сигнали путују кроз нервни систем, што је основа за данашњу медицину и за третмане који се заснивају на електричној стимулацији. Алдини се сматра једним од пионира повезивања електрицитета и биологије.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Направи списак од пет електричних уређаја и за сваки од њих одреди које ефекте изазива струја.
2. Потражи на интернету илустрацију електричног бојлера и објасни топлотно дејство струје код њега?
3. Наброј три уређаја код којих се истовремено појављују бар два ефекта струје?
4. Наброј неколико уређаја код којих се примећује топлотно и светлосно дејство струје.
5. Анализирај који се ефекти електричне струје појављују код електричног аутомобила.



ЗАПАМТИ

- Електрична струја има више дејстава: светлосно, топлотно, механичко, хемијско и магнетно дејство.
- Преко дејстава, електрична енергија се претвара у друге врсте енергије.
- Код електричних уређаја најчешће се појављује више дејстава истовремено.

3.11. МАГНЕТИ И МАГНЕТНО ПОЉЕ

ПОЈМОВИ

магнетно поље

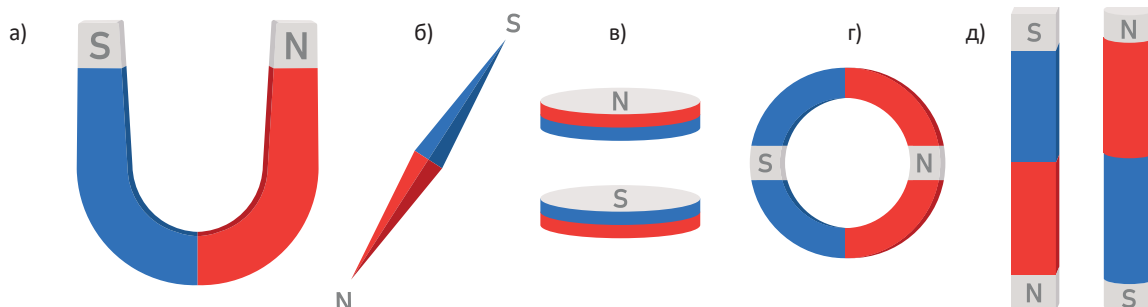
магнетне линије
силехомогено магнетно
пољемагнетно поље
Земље

Магнетизам је откривен још у античко време у Магнезији, области у данашњој Турској. Људи у овој области су приметили да одређено камење има необично својство да привлачи гвожђе. Управо од имена ове области потиче и реч **магнет**. Природни магнетизам је откривен код руде назване **магнетит** (Fe_3O_4), која је гвоздени оксид. Магнетит је једина руда која је **природно магнетна**, односно сама по себи ствара магнетно поље и може да привлачи гвоздене предмете.



Слика 1. Магнетит.

Данас ретко користимо природне магнете јер је њихова снага релативно слаба. Уместо њих, користимо вештачке магнете направљене од челика или од посебних легура. За различите намене, магнети се израђују у различитим облицима, на пример штапни магнет који има облик штапа. Затим, потковичасти магнет (у облику слова U) – код овог облика магнетно поље је веома јако у простору, где су два пола близу један другом. Магнетна игла се најчешће користи код компаса, а прстенасти и цилиндрични магнети се најчешће користе код звучника.



Слика 2. а) Потковичасти магнет (магнет у облику потковице), б) Магнетна игла,

в) Цилиндрични магнет, г) Прстенасти магнет, д) Штапни магнет (магнет у облику штапа).

Сваки магнет има два магнетна пола, северни, који је означен са N (од енглеског „North“) и јужни S (од енглеског „South“). Ако магнет сломимо на два дела, до-бићемо два магнета са по два магнетна пола. Не постоји магнет само са једним магнетним полом, на пример магнет само са северним или само са јужним магнетним полом. Истоимени магнетни полови се одбијају, а разноимени се привлаче. Ово међудејство је доказ да око магнета постоји **магнетно поље**, односно простор око магнета има карактеристичне особине. Као и електрично међудејство, тако и магнетно међудејство је дејство на даљину.



АКТИВНОСТ

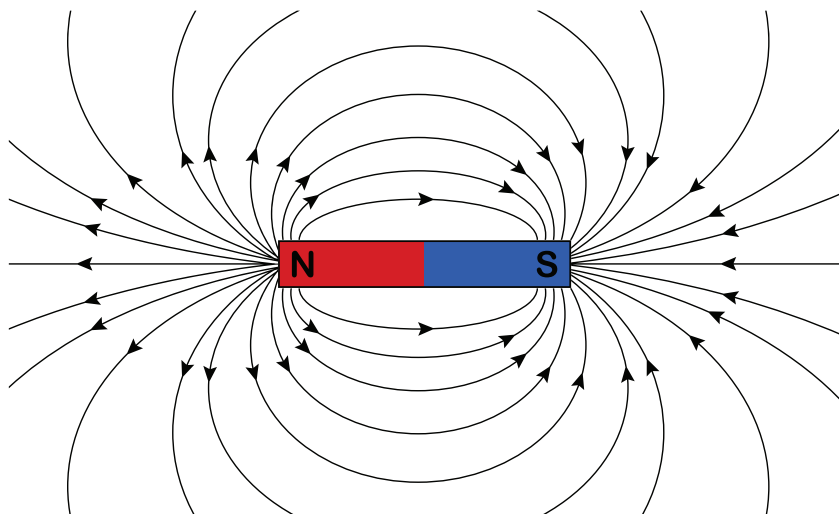
1. Истраживање магнетног међудејства

Узмите два магнета и приближавајте их истоименим половима (север-север, југ-југ), а затим разноименим (север-југ). Затим приближите магнет гвозденим предметима (спајалице, кључ).

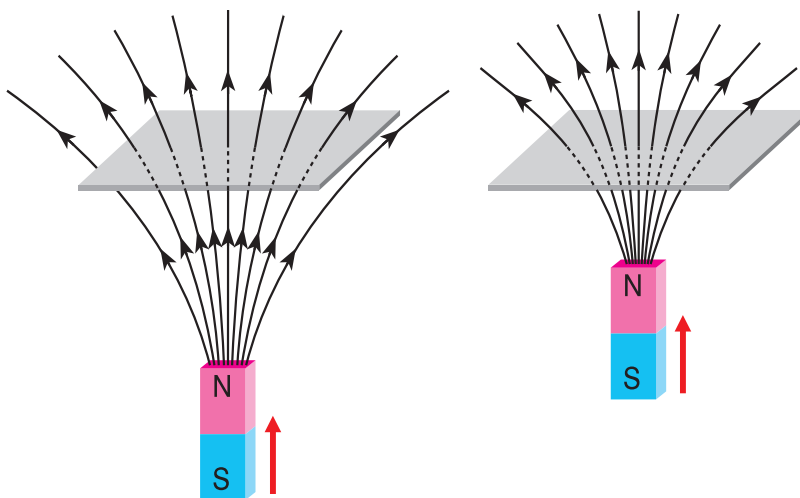
Шта примећујете? Да ли магнет мора да додирне предмет да би почео да га привлачи?

Иако је магнетно поље недоступно нашим чулима, ми можемо да га визуелизујемо помоћу **магнетних линија сила**. То су затворене линије које излазе из северног пола магнета, а улазе у јужни. Магнетне линије одређују правац и смер магнетног поља у свакој његовој тачки.

Број магнетних линија сила које пресецају одређену површину даје њихову густину. На мес-тима где је густина линија сила већа, тамо је и јачина магнетног поља већа. На Слици 4 је приказана равна површина коју секу магнетне линије сила. Колико је површина ближе магнету, толико више магнетних линија сила сече раван, што значи да је густина линија сила већа, односно јачина магнетног поља је већа.



Слика 3. Магнетне линије сила код штапчастог магнета.



Слика 4. Према густини линија сила одређујемо јачину магнетног поља у простору.

Помоћу гвоздених струготина, могу се визуелизовати магнетне линије сила. Примећује се да оне имају највећу густину на крајевима магнета, односно на његовим половима. У тим тачкама магнетно поље је најјаче. Како се удаљавамо од магнета, тако магнетно поље слаби.



АКТИВНОСТ

1. Поставите штапни магнет на равну површину. Изнад њега поставите плочу од плексигласа. Пажљиво поспете гвоздене струготине по плочи и нежно куцните плочу прстом. Струготине ће се поређати у правилне линије. Шта примећујете? Где су струготине најгушће?

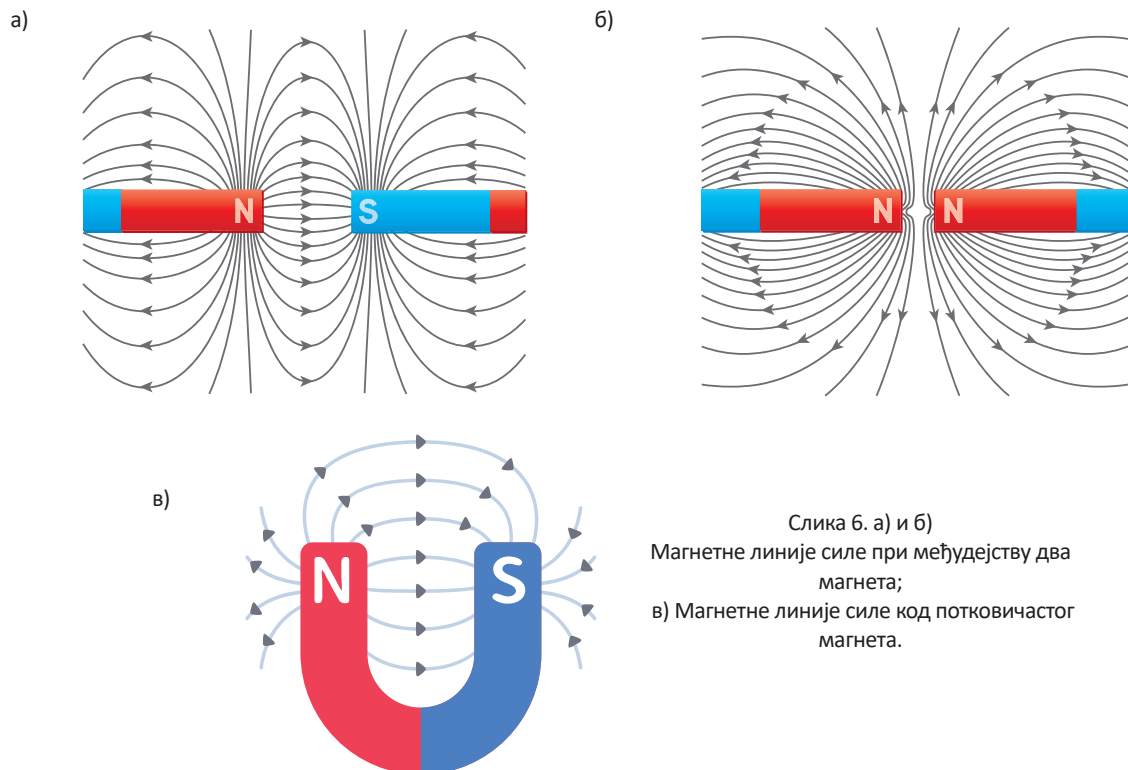
Магнетно поље нема увек исту јачину у свим тачкама. Код штапчастог магнета, поље у различитим тачкама простора има различиту јачину, односно кажемо да је нехомогено. **Хомогено магнетно поље** је магнетно поље које има исту јачину, правац и смер у свакој тачки простора. Такво поље може се приближно створити у простору између два паралелно постављена магнетна пола.

Земља као магнет

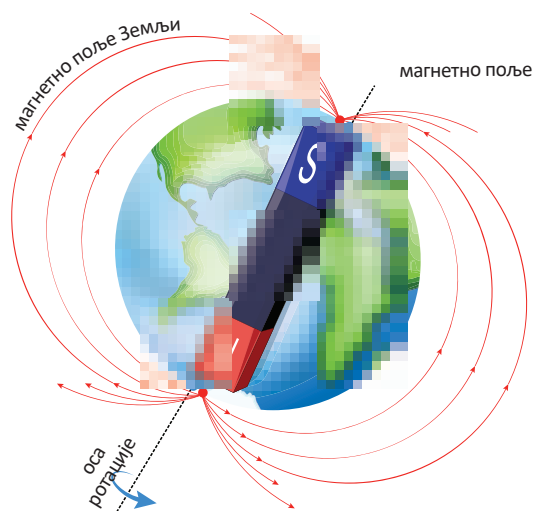
Из искуства знамо да игла компаса увек показује правац север-југ? То је тако јер се сама планета Земља понаша као огроман штапни магнет, (Слика 7). Исто као код сваког магнета, тако и око Земље постоји магнетно поље које називамо магнетним пољем Земље. Притом, северни магнетни пол Земље је код јужног географског пола и обрнуто, јужни магнетни пол Земље је код географског



Слика 5. Магнетне линије сила приказане гвозденим струготинама.



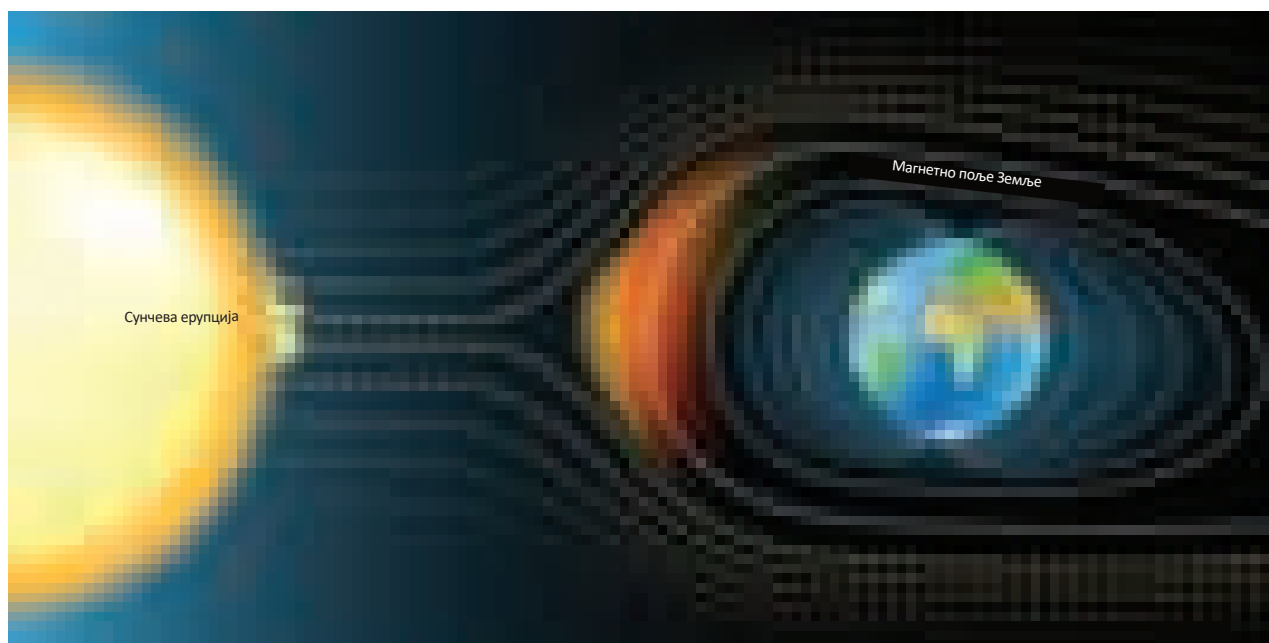
Слика 6. а) и б)
Магнетне линије силе при међудејству два магнета;
в) Магнетне линије силе код потковичастог магнета.



Слика 7. Земља као магнет у облику штапа и магнетно поље Земље.

северног пола. Услед међудејства са магнетним пољем Земље, магнетна игла компаса увек приближно показује правац север-југ.

Магнетни полови Земље се не поклапају тачно са географским половима, али су довољно близу да бисмо користили компас за оријентацију. Магнетно поље Земље представља природну заштиту од штетних зрачења при сунчевој ерупцији, одбијајући их ка међупланетарном простору, као што је приказано на Слици 8.



Слика 8. Заштитна функција магнетног поља Земље од штетних зрачења која долазе са Сунца.



АКТИВНОСТИ

2. Направи сам свој компас (као на слици десно)

Узми иглу за шивење и једним полом магнета прелазите по њој само у једном смеру (од почетка ка врху) околу 30 пута. Провуците иглу кроз парче плуте или је залепите на стиропор. Пажљиво спустите стиропор да плива у посуди са водом. Игла ће се окренути и зауставити у правцу север-југ. Упоредите правац који показује игла са правцем који показује магнетна игла или фабрички произведен компас.



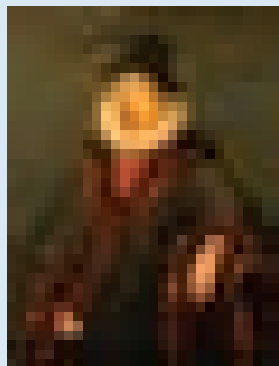
3. Користећи компас, одредите где је правац север-југ и смер ка северу. Како ћете бити сигурни да компас заиста показује тај правац?

**ЗАНИМЛИВОСТИ**

Птице селице и морске корњаче осећају магнетно поље Земље и користе га као природан систем за глобално позиционирање (GPS).

ЗА 5+

Истражи зашто се магнетно поље Земље током времена мења и зашто магнетни полови нису фиксни, већ се постепено померају. Размисли какве би последице то имало по навигацију и по живот на Земљи.

**ПОЗНАТИ НАУЧНИК****Вилијам Гилберт (William Gilbert 1544–1603)**

Гилберт је био енглески лекар, физичар и природњак, који се сматра оснивачем науке о магнетизму. Гилберт је први применио систематски експериментални приступ при истраживању магнета. Он је открио да се Земља понаша као огроман магнет, чиме се може објаснити зашто се игла компаса увек оријентише у правцу север–југ.

Своје резултате је објавио у познатом делу „О магнетима“ (De Magnete) објављеном 1600. године, што представља прву савремену научну књигу посвећену магнетизму. У овом делу, Гилберт је направио јасну разлику између магнетних појава и електричних појава (као што је привлачење код наелектрисаних тела), чиме је поставио темеље за даљи развој електрицитета и магнетизма као посебних области физике. Његов рад је имао велики утицај на потоње научнике и означио је почетак савременог, експериментално заснованог приступа у физици.

**ПИТАЊА И ЗАДАЦИ**

1. Шта представља магнетно поље?
2. Како узајамно делују истоимени, а како разноимени магнетни полови?
3. Шта су магнетне линије сила и шта можемо одредити преко њихове густине?
4. Зашто Земља има магнетно поље?
5. Да ли су географски северни пол Земље и северни магнетни пол Земље близу један другом?
Образложи одговор.

**ЗАПАМТИ**

- Магнети узајамно делују стварањем магнетног поља у простору око њих.
- Магнетно поље се графички представља магнетним линијама сила.
- Јачина магнетног поља зависи од густине линија сила.
- Земља представља велики магнет са магнетним половима постављеним близу географских пола.
- Компас је навигациони инструмент који користи магнетно поље Земље за одређивање правца север - југ.

3.12. МАГНЕТНО ПОЉЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ. ЕЛЕКТРОМАГНЕТ

ПОЈМОВИ

правoliniјски
проводник

калем/соленоид

гвоздено језгро

електромагнет

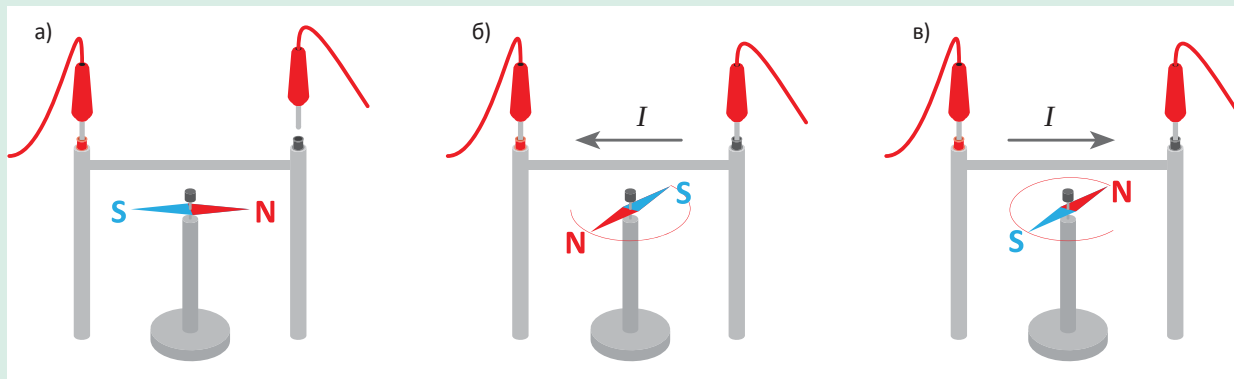
магнетисање

Дуго времена су електричне и магнетне појаве проучаване као посебне природне појаве. Ипак, експерименти су показали да између њих постоји дубока повезаност. Године 1820, научник Ханс Кристијан Ерстед је приметио да се игла компаса отклонила од правца север - југ када је кроз електрични проводник, који се налазио у близини игле, протекла електрична струја. Тако је Ерстед открио да када кроз **правoliniјски проводник** тече електрична струја, око њега се ствара магнетно поље. Овим открићем је први пут показана повезаност између електричних и магнетних појава, чиме је електрична енергија била повезана са магнетизмом.



АКТИВНОСТ

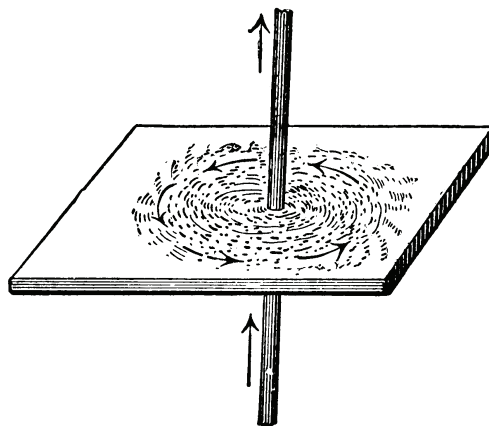
1. Повежи једноставно струјно коло (батерија, прекидач, дуга жица и мала сијалица). Постави компас и након што он покаже правац север-југ, изнад компаса постави једну проводну жицу из кола у истом правцу. Шта се дешава са иглом компаса када се укључи струјно коло? Шта се дешава ако променимо смер течења струје (променом полова батерије)? Како се може повећати јачина магнетног поља око жице?



Слика 1. Отклањање магнетне игле од правца север-југ када се изнад ње донесе проводник кроз који тече електрична струја. а) Кроз проводник не тече струја б) У проводнику тече струја налево в) У проводнику тече струја надесно.

Магнетно поље електричне струје узајамно делује са магнетним пољем игле компаса. Услед тог узајамног дејства магнетна игла се оријентише у простору и заузима одређени угао са проводником. Са повећањем јачине струје, тај угао се повећава. Магнетна игла тежи да стане нормално у правцу проводника. Ако променимо смер струје, тада ће се променити и оријентација игле. То значи да смер и јачина магнетног поља око проводника зависе од смера и јачине струје која тече кроз њега. Услед узајамног дејства проводника и магнетне игле, можемо закључити да се проводник кроз који тече струја понаша као магнет.

Магнетно поље правог проводника кроз који тече јака електрична струја може се демонстрирати помоћу једноставног експеримента. Проводник се поставља вертикално, тако да пролази кроз средину хоризонтално постављеног картона, као што је приказано на Слици 2. Магнетне линије силе око проводника могу се јасно посматрати помоћу ситних гвоздених струготина. У магнетном пољу, ове струготине се понашају као веома мале магнетне игле које се поређају у смеру самог поља. Ако по хоризонталном картону посмемо гвоздене струготине, након укључивања струје оне ће се поређати у концентричне кружнице око проводника. Заправо, ове кружнице нам показују облик магнетног поља код праволинијског проводника и његову јачину. Магнетно поље око праволинијског проводника је нехомогено. Његова јачина је највећа у близини проводника јер су струготине најгушће распоређене у његовој близини. Ова чињеница јасно показује да електрична струја има магнетно дејство и да магнетно поље није својство само сталних магнета.



Слика 2. Магнетне линије силе око проводника кроз који тече струја видљиве помоћу гвоздених струготина.

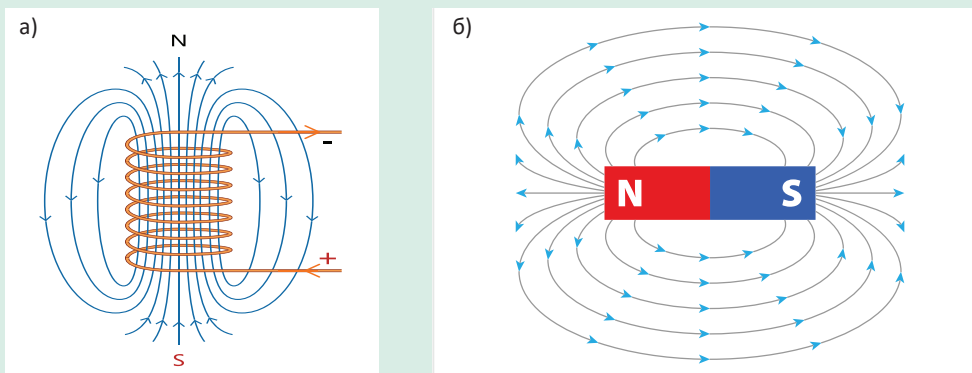
Магнетно поље калема (Соленоид)

Ако праволинијски проводник савијемо у облику спирале (навоја), добијамо калем или соленоид, као што је приказано на Слици 3. Магнетно поље соленоида је много јаче него код обичне праве жице (праволинијског проводника).



АКТИВНОСТ

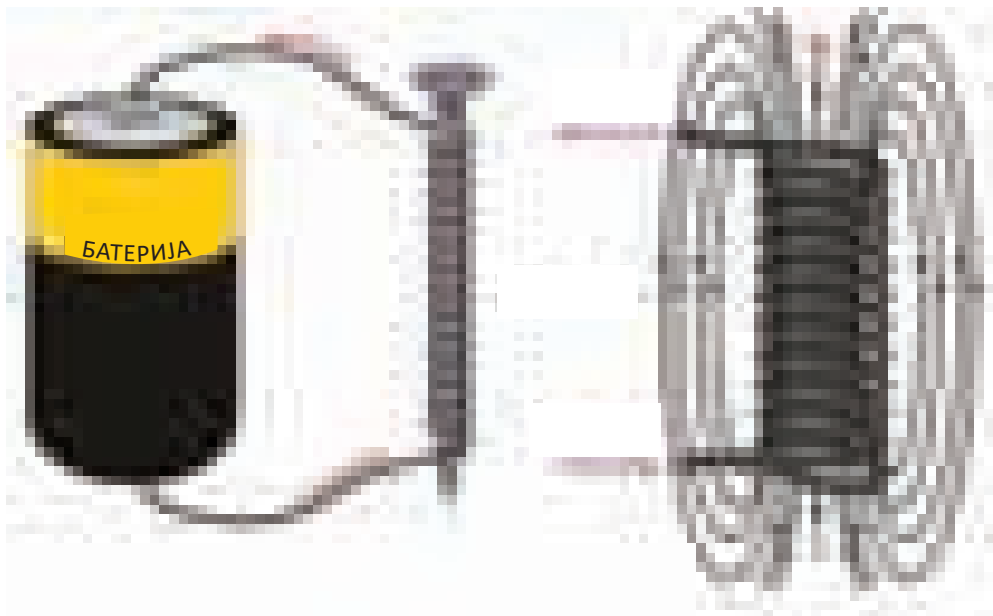
2. Поређење магнетних поља магнета у облику штапа и соленоида. Погледајте илустрације магнетног поља магнета у облику штапа и соленоида дате на Слици 4. Шта је слично код магнетних поља магнета у облику штапа и соленоида? Која је разлика између њих? Да ли соленоид увек ствара магнетно поље као и магнет у облику штапа?



Слика 3. Магнетно поље: а) Соленоида кроз који тече једносмерна струја
б) Магнета у облику штапа.

Магнетно поље соленоида, према изгледу, веома је слично магнетном пољу магнета у облику штапа. Соленоид има два краја који се понашају као северни и јужни магнетни пол. Изван калема, магнетне линије силе излазе из северног пола и улазе у јужни, а унутар калема, оне су готово паралелне, што указује на хомогено магнетно поље.

Електромагнет



Слика 4. Једноставан електромагнет.

Електромагнет је калем са гвозденим језгром постављеним у унутрашњости између навоја. Гвожђе у језгру се додатно магнетише и значајно појачава магнетно поље калема када кроз њега тече струја. Једноставан електромагнет је приказан на Сlici 4. Када кроз соленоид тече струја, у њему и око њега ствара се магнетно поље. У унутрашњости соленоида магнетно поље је хомогено. Гвоздено језгро, које је унутар калема, се **магнетише**, односно постаје магнет и додатно појачава јачину магнетног поља.

Јачина магнетног поља електромагнета зависи од броја навоја (колико је више пута намотана жица око језгра, толико је јаче магнетно поље) и од јачине струје која тече кроз соленоид.

Електромагнети су веома корисни јер се њихово магнетно поље може контролисати укључивањем и искључивањем струје или мењањем величине и смера струје. Они се користе у електричним звонима, телефонима и у звучницима, где магнетно поље изазива кретање металних делова и стварање звука.



Слика 5. Електромагнети који се могу наћи у различитим електричним уређајима.

У индустрији електромагнети служе за подизање и премештање масивних гвоздених предмета, омогућавајући ефикасан рад у фабрикама и складиштима (Слика 6).

У медицини јаки електромагнети су саставни део апарата за магнетну резонанцу, који омогућавају добијање прецизних слика унутрашњости људског тела стварањем снажног магнетног поља (Слика 7). У свакодневним апаратима, као што су машине за прање веша и електрични мотори, електромагнети претварају електричну енергију у механички рад.

У железничком транспорту се користе моћни електромагнети код такозваних Маглев возова који „лебде“ изнад шина, чиме се код ових возова елиминише трење са шинама и омогућава постизање велике брзине (Слика 8).



Слика 6. Магнетни кран.



Слика 7. Снимање магнетном резонанцом.



Слика 8. Маглев воз који лебди изнад шина.

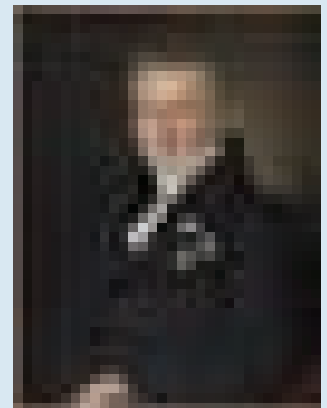
Зато су електромагнети важна веза између електричне струје и практичне примене магнетних сила, обезбеђујући напредак у технологији и побољшање квалитета живота.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Ханс Кристијан Ерстед (1777–1851)

Ерстед је био дански физичар, хемичар и професор који је одиграо кључну улогу у развоју савремене физике. Радећи као професор на Универзитету у Копенхагену, бавио се проучавањем електричних и магнетних појава у време када су се оне сматрале потпуно одвојеним. Године 1820, током једног предавања, Ерстед је приметио да се магнетна игла постављена близу жице отклони када кроз жицу тече електрична струја. Ово једноставно, али изузетно важно откриће било је први јасан експериментални доказ да електрична струја ствара магнетно поље.

Овим открићем Ерстед је успоставио дубоку везу између електрицитета и магнетизма и означио почетак електромагнетизма као уједињене области физике. Његов рад је имао огроман утицај на касније научнике, као што су Ампер, Фарадеј и Максвел, који су развили основне законе Електромагнетне теорије. Данас је примена Ерстедовог открића присутна у електричним моторима, генераторима, трансформаторима и безброј технолошких уређаја.



ЗА 5+

Истражи како се отклоња магнетна игла (у ком правцу) у зависности од смера тока струје и какав је смер магнетних силница код правог проводника кроз који тече струја.

**ЗАНИМЉИВОСТИ**

У звучницима електромагнети претварају електричне сигнале у звук.

**ПИТАЊА И ЗАДАЦИ**

1. Како се манифестује магнетно поље око праволинијског проводника кроз који тече електрична струја?
2. Које промене можемо направити код електромагнета да бисмо контролисали његово магнетно дејство?
3. Наброј две сличности и две разлике између магнетног поља магнета у облику штапа и магнетног поља соленоида (калема).
4. Шта је електромагнет и на који начин гвоздено језгро побољшава његово дејство?
5. Зашто је корисно да електромагнети могу да се укључују и искључују за разлику од обичних (трајних) магнета?

**ЗАПАМТИ**

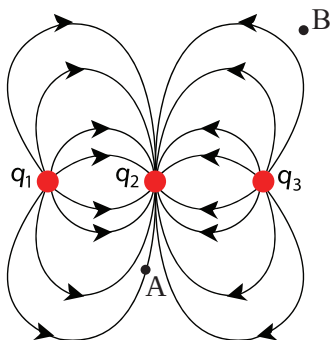
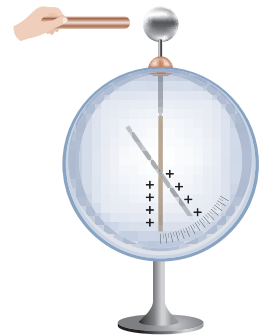
- Сваки проводник кроз који тече електрична струја ствара око себе магнетно поље. Ова појава је основа електромагнетизма.
- Магнетно поље око праволинијског проводника зависи од смера струје; ако се промени смер струје, мења се и смер магнетног поља око проводника.
- Магнетно поље соленоида је слично пољу магнета у облику штапа.
- Соленоид се понаша као магнет само док кроз њега тече струја, а магнет у облику штапа је стални магнет.
- Електромагнет је калем са гвозденим језгром уметнутим у његову унутрашњост који појачава магнетно дејство.

ТЕМА 3.

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂИВАЊЕ

1. Шта представља атом и које су његове градивне честице?
2. Шта се дешава са атомом када изгуби електрон?
3. Да ли се при електризовању трењем двају тела може наелектрисати само једно од тела? Образложи одговор.
4. Каква врста међудејства настаје између наелектрисаних тела?
 - а) гравитационо
 - б) магнетно
 - в) електростатичко
 - г) нуклеарно
5. Ненаелектрисаном електроскопу приближена је наелектрисана шипка. Преко електростатичке инфлуенције електроскоп се наелектрише и казалка се отклони. Према приказаном на слици, одреди којим је наелектрисањем наелектрисана шипка?
6. Око којих тела постоји електрично поље?
7. Шта представљају електричне линије силе и која је њихова улога у описивању поља?

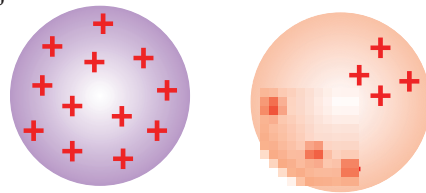


8. На слици је приказано електрично поље створено од три наелектрисања q_1 , q_2 и q_3 .
 - а) Којом врстом количине наелектрисања је наелектрисан сваки од наелектрисања?
 - б) У којој тачки простора електрично поље има већу јачину, у А или у В?
9. За шта је мера густина електричних линија силе у датом простору?
 - а) температура простора
 - б) смер струје
 - в) јачина електричног поља
 - г) врста наелектрисања
10. Шта је електрична струја?
11. Која је разлика између једносмерне и наизменичне струје?
12. За који уређај кажемо да је галвански елемент?
13. Које честице су носиоци електричне струје у металима?
 - а) протони
 - б) неутрони
 - в) позитивни јони
 - г) слободни електрони
14. Наведи три примера материјала који су добри електрични проводници.

15. Шта су izolatori и зашто се користе у електричним инсталацијама?

16. Шта су полупроводници?

17. На слици су приказане две лоптице израђене од различитог материјала. Која од њих је направљена од проводног материјала, а која од izolatora? Образложи одговор кроз разлику на сликама код две лоптице.



18. Зашто електрична струја може бити опасна по човека?

19. Наведи три основне мере заштите при коришћењу електричних уређаја.

20. Шта је осигурач и која је његова улога?

21. Да ли чиста дестилована вода проводи струју? Зашто?

22. Које честице преносе струју кроз течности?

23. Када су гасови izolatori, а када проводници електричне струје?

24. Наброј неколико начина како се може изазвати јонизација код гасова.

25. Које мере ћеш предузети за заштиту од грома у случају невремена?



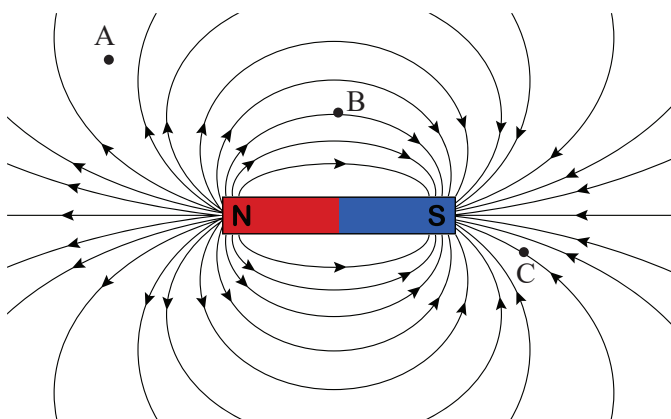
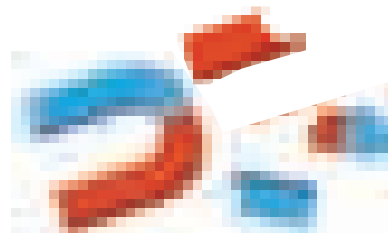
26. Какво дејство има електрична струја када тече кроз електролит?

27. На зиду у просторији има три прекидача, од којих је један прави, а два су лажна. Можеш да укључујеш и искључујеш прекидаче колико хоћеш.

Одреди који прекидач је прави за лампу на столу, само са једним уласком у суседну просторију где се налази лампа.

28. Размисли и упореди електрично и магнетно поље. Које су сличности и разлике у односу на стварање, међудејство, линије силе, јачину поља?

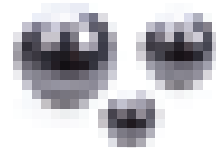
29. Магнет у облику потковице пао је на под лабораторије и разбио се на три дела. Нацртај слику у свесци и означи полове на сваком парчету магнета.



30. Нацртај магнет у облику штапа и означи његове магнетне полове. Сада, замисли да је магнет подељен на два дела. Нацртај одговарајућу слику и означи полове.

31. У простору око магнета у облику штапа означене су три тачке: А, В и С. У којој од тих тачака магнетно поље магнета има највећу јачину, а у којој најмању?

32. Имаш три металне лоптице направљене од гвозђа. Предложи нешто креативно како да поставиш лоптице једну на другу, али да се одрже у том вертикалном положају. Не смеш да користиш лепак.



Тема 4:

СВЕТЛОСТ

У овој теми ћеш научити како се светлост простира и зашто ствара сенке и полусенке. Схватићеш да сенка није само „тама“, већ резултат препреке која блокира светлост, и да исте појаве имају велике последице у Сунчевом систему – од помрачења Месеца до помрачења Сунца.

Научићеш шта значи одбијање светлости и како да примењујеш закон одбијања светлости при конструкцији ликова. Моћи ћеш да конструишеш ликове помоћу сферног огледала и да решаваш проблеме из свакодневице, како функционишу ретровизори или зашто огледала у продавницама дају деформисане слике.

Упознаћеш се и са дисперзијом беле светлости, која је претвара у спектар боја, као у дуги. Научићеш о мешању боја, о томе како се светлост рефлектује и апсорбује, и зашто предмети око нас имају различите боје.

У овој теми ћеш открити да је светлост више од нечега што нам омогућава да видимо – она је кључ за разумевање природе, технологије и уметности око нас.

Резултати учења

Ученик/ученица ће бити способан/способна:

- да објасни: простирање светлости, разлог за формирање сенке и полусенке, као и последице њиховог формирања у свемиру;
- да објасни одбијање светлости и да примени закон одбијања при конструкцији ликова;
- да конструише/формира ликове помоћу сферног огледала и решава проблемске ситуације из свакодневног живота применом знања о одбијању светлости помоћу сферног огледала;
- да објасни преламање светлости и да га представи дијаграмом;
- да конструише/формира ликове помоћу сочива и решава проблеме са сочивима из свакодневице;
- да објасни дисперзију беле светлости, мешање боја, рефлексију и апсорпцију светлости у разним бојама.

4.1. ПРОСТИРАЊЕ СВЕТЛОСТИ

ПОЈМОВИ

примаран и секундаран
светлосни извор

светлосни сноп

светлосни зрак

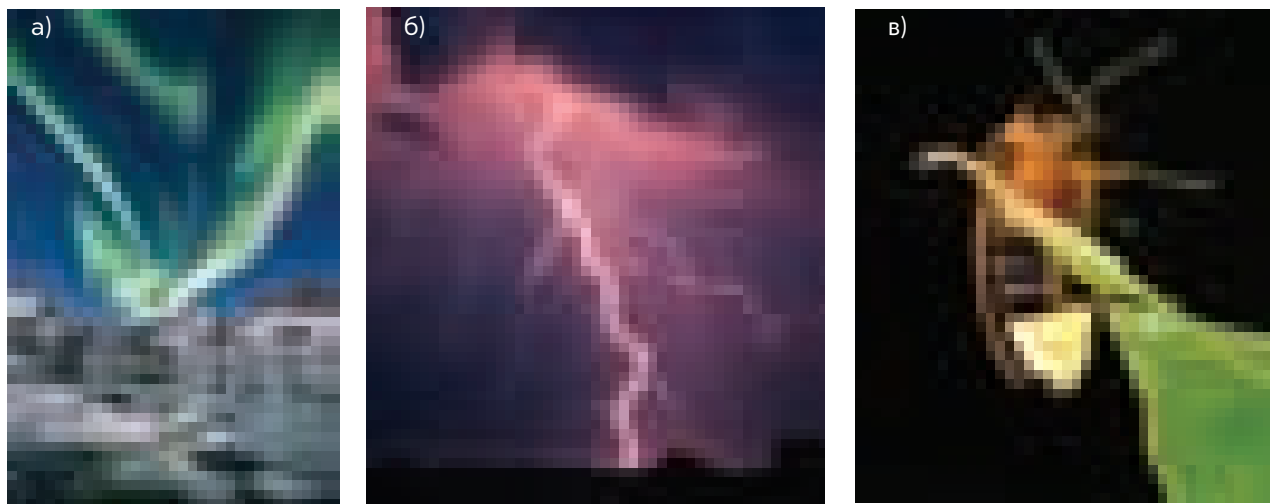
брзина
простирања
светлости

светлосни извор

праволинијско простирање
светлоститачкасти светлосни
извор

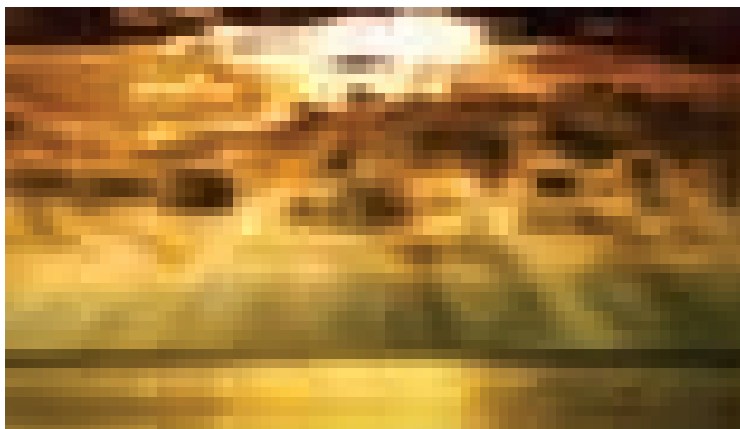
Светлост је једна од најважнијих појава у природи, јер захваљујући њој видимо и доживљавамо свет око нас. Део физике који проучава светлост назива се оптика. Свако тело које емитује или зрачи светлост назива се **светлосни извор**. Неки светлосни извори стварају светлост самостално, а други светле само зато што одбијају светлост која пада на њих.

Разликујемо две врсте извора светлости: **Примарни светлосни извори** су извори који сами производе светлост као што су: звезде, Сунце, поларна светлост, муња, пламен свеће, светиљке, ласери, инсект свитац и неке морске животиње. **Секундарни светлосни** извори су објекти и извори који не стварају сами светлост, већ је рефлектују, односно одбијају светлост која је пала на њихову површину, а потиче од примарних извора светлости као што су на пример Месец и планете. Месец је типичан пример за секундарни извор. Он светли на ноћном небу, али не ствара светлост, већ само одбија део сунчевог зрачења које пада на њега.



Слика 1. Примарни извори светлости а) поларна светлост, б) муња, в) свитац.

Простирање, односно пут светлости од извора представљамо светлосним зраком. Када се светлост простира од извора, представљамо је светлосним зраком. Светлосни зрак је замишљена линија која показује правац простирања светлости. Међутим, у стварности из једног светлосног извора излази велики број зрака који заједно чине светлосни сноп. Светлосни сноп је скуп великог броја светлосних зрака који се простиру у истом смеру и преносе светлосну енергију. Другим речима, може се рећи да светлосни зрак представља светлосни сноп са веома малом ширином. Светлосне снопове и зраке



Слика 2. Светлосни сноп и светлосни зраци.

можемо видети када се Сунчева светлост пробија кроз облаке (Слика 2).

Светлосни извори могу бити и тачкасти, односно толико мали да светлост изгледа као да потиче из једне једине тачке. Извор светлости чије су димензије много мање од површине коју светљава или димензије су много мање од растојања до осветљеног предмета

називамо **тачкасти извор светлости**. Мала светилка на бициклу која је далеко од нас или далека звезда на ноћном небу су примери где извор за нас изгледа довољно мали и сматрамо га тачкастим. Светлост од тачкастих извора сматраћемо да се шири равномерно у свим правцима.

Када светлост путује кроз неку хомогену и провидну средину, као што су ваздух, вода или стакло, она се **шири праволинијски**. Ово значи да, ако на путу светлосног зрака нема непровидне препреке, светлосни зрак ће наставити да се шири по правој линији. Доказ за то је формирање сенки од непровидних предмета. Непровидни предмет спречава ширење светлосног зрака. Будући да светлосни зраци не могу да заобиђу предмет, иза њега се појављује тамна површина. Светлост се шири веома великом брзином. **Брзина ширења светлости** у вакууму је приближно 300.000 километара у секунди или $3 \cdot 10^8$ m/s и сматра се највећом могућом брзином у природи. То значи да светлост само за једну секунду прелази растојање довољно да обиђе Земљу по Екватору приближно осам пута. Брзина светлости у ваздуху, води или у стаклу је мања од брзине светлости у вакууму.



АКТИВНОСТИ

1. Праволинијско ширење светлости

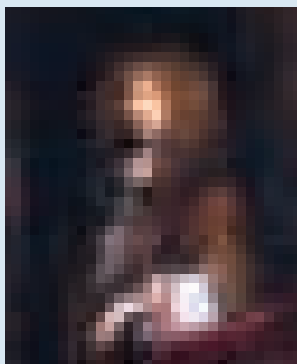
Исеци на два картона мале кружне отворе. Картоне постави један иза другог тако да кружни отвори леже на истој правој. Трећи картон без отвора нека ти послужи као екран на којем ћеш посматрати светлосне зраке. Први картон осветли батеријском лампом. Да ли светлост пролази кроз оба отвора? Шта ће се десити ако први отвор помериш у односу на други. Да ли светлост поново пада на екран? Шта се доказује овом активношћу? Понови експеримент са ласером. Дискутуј да ли има разлике када први отвор осветлиш батеријском лампом и када га осветлиш ласером.

2. Видљивост светлосних зрака у тамној просторији

Укључи малу батеријску лампу у замраченој просторији и распрши мало прашине од креде у ваздуху. Шта примећујеш? Какав је правац ширења светлосних зрака? Понови експеримент са ласером. Да ли се и ласерски зраци, као и зраци код батеријске лампе, шире у свим правцима? Светлосни зрак од ласера можеш да посматраш и у води ако у воду додаш неколико капи млека.

3. Примарни и секундарни извор светлости

Осветли белу алуминијумску фолију светлошћу батеријске лампе у тамној просторији. Затим, уместо алуминијумске фолије, исто уради са равним огледалом. Искључи батеријску лампу и провери да ли предмети светле. Поново укључи лампу. Да ли можемо рећи да су ови предмети секундарни извори светлости?

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК**Кристијан Хајгенс (Christiaan Huygens 1629–1695)**

Хајгенс је био један од најзначајнијих европских научника из 17. века. Хајгенс је предложио оно што данас називамо таласном теоријом светлости, у којој се светлост не разматра као поток честица, већ као талас који се шири кроз простор. Ово је било супротно тада доминантној идеји Исака Њутна, који је тврдио да је светлост састављена од малих честица. Према Хајгенсу, свака тачка на таласном фронту може се сматрати извором нових, малих таласа. Ти мали таласи се називају Хајгенсови таласи, а овај принцип, формулисан 1678. године, данас је основа таласне оптике. Теорија Хајгенса је на једноставан и јасан начин објаснила многе појаве које су претходно биле

тешко разумљиве, као што су одбијање светлости, њено преламање при преласку из једне средине у другу и стварање сенки са јасним и оштрим ивицама. Осим открића повезаних са светлошћу, Хајгенс је дао значајан допринос и у другим областима. Он је први израчунао приближну величину прстенова Сатурна и открио један од његових месеца (Титан). Такође, он је израдио један од најтачнијих часовника свог времена, часовник са нишалом. Тиме је била побољшана прецизност мерења времена на глобалном нивоу.

**ЗАНИМЉИВОСТИ**

Од Сонцето до Земјата светлината пристигнува за 8 минута и 20 секунди.

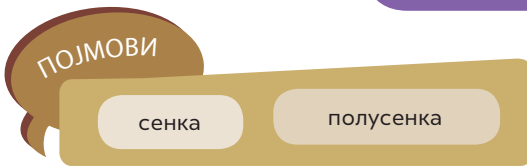
**ПИТАЊА И ЗАДАЦИ**

1. Шта је светлосни извор? Наведи неколико примера из свакодневног живота.
2. Која је разлика између примарног и секундарног светлосног извора?
3. Да ли је Месец примарни или секундарни извор? Објасни зашто.
4. Шта представља светлосни зрак, а шта светлосни сноп?
5. Осим помоћу прашине од креде, предложи други начин да светлосне зраке учиниш видљивим.

**ЗАПАМТИ**

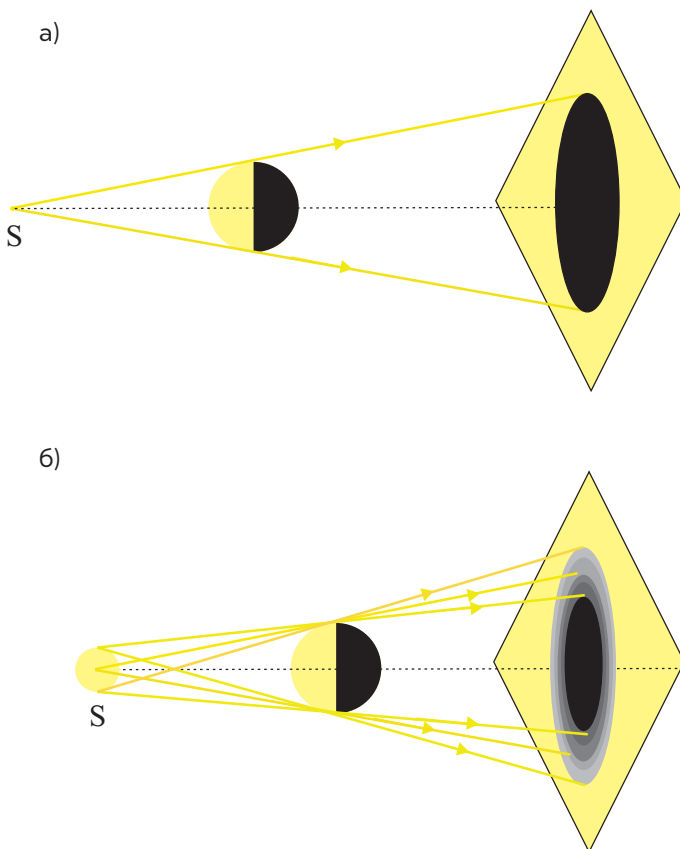
- Светлост потиче од светлосних извора. Они могу бити примарни (сами стварају светлост) или секундарни (одбијају светлост од примарних извора).
- Замишљена линија која показује правац ширења или простирања светлости назива се светлосни зрак.
- Велики број светлосних зрака који се крећу у истом смеру и преносе светлосну енергију представљају светлосни сноп.
- У хомогеној средини светлост се шири праволинијски у свим правцима.
- Извор светлости чије су димензије много мање од површине коју осветљава или његове димензије су много мање од растојања до осветљеног предмета назива се тачкасти извор светлости.
- Највећа брзина у природи је брзина светлости.

4.2. СЕНКЕ И ПОЛУСЕНКЕ



Кроз хомогену провидну средину светлост се шири праволинијски. Зато у природи настају многе интересантне појаве. Једна од њих су **сенке** које представљају тамне површине које се појављују када једно тело или један предмет препречи пут светлосним зрацима. Иако на први поглед изгледају једноставно, сенке дају многа важна сазнања о ширењу светлости, повезана са димензијама извора и предмета као и са растојањима између извора, предмета и површине на коју се пројектује сенка.

Када на једно тело пада светлост од тачкастог извора светлости, тело препречује простирање дела зрака и иза тела се ствара тамна област названа **сенка**. Кажемо, сенка је део простора где не пролази ниједан светлосни зрак. Међутим, ако извор светлости није тачкаст, већ има димензије упоредиве са димензијама тела које осветљавамо, тада не добијамо само сенку.



Слика 1. а) Формирање сенке када је тело осветљено тачкастим извором и б) формирање сенке и полусенке од истог тела када је осветљено извором који није тачкаст

Светлост која пада на тело потиче из различитих делова извора светлости, односно на тело пада из различитих праваца. Зато су неки зраци препречени телом, а неки успевају да прођу поред његове ивице. У овим случајевима иза тела се не ствара само једна тамна област, већ две: потпуно тамна област и светлија област око ње. Тамна централна област, где не пада ниједан светлосни зрак, назива се **сенка**, а околна област, где стиже део светлости, назива се **полусенка**. Полусенка је увек светлија од сенке. На Слици 1. је приказано формирање сенке од тачкастог извора који осветљава непровидну сферу, као и сенка и полусенка

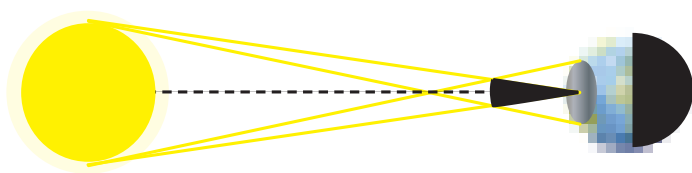
Када имамо тачкаст извор светлости, зраци који потичу из њега, а тангенте су на површину сфере су зраци који означавају границу сенке, па је зато она оштра. У другом случају, осим формирања

сенке, постоји област око сенке до које долазе само део зрака из различитих делова извора. Граница између сенке и полусенке није оштра.

У другом случају, осим формирања сенке, постоји област око сенке до које долазе само део зрака из различитих делова извора. Граница између сенке и полусенке није оштра.

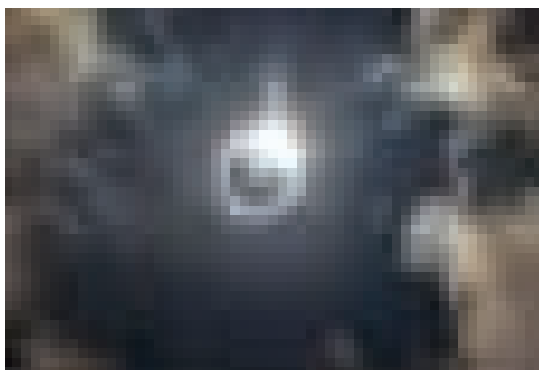
Сенке и полусенке су јасно видљиве у свакодневном животу, пример сенка испод дрвета. У сунчан дан, ивице сенке су замагљене, јер је Сунце велики извор и ствара полусенку. Али, ако користимо малу светиљку у тамној просторији, може да добијемо сенку са веома оштром границом.

а)

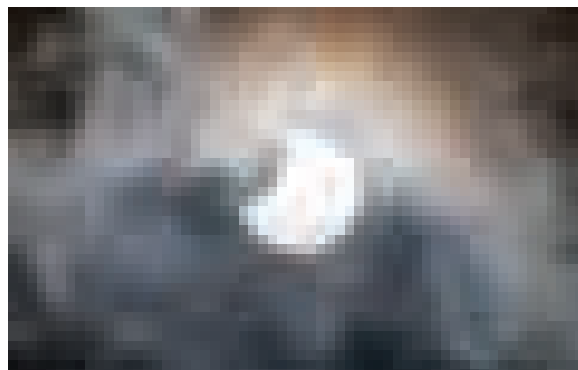


Због стварања сенки и полусенки настају природне појаве ноћ, помрачење Сунца, помрачење Месеца и фазе Месеца. Дан и ноћ се смењују јер се Земља окреће око своје осе. Део Земље који је окренут ка Сунцу је осветљен и тамо је дан, а део Земље који не осветљава Сунце је у сенци и

б)



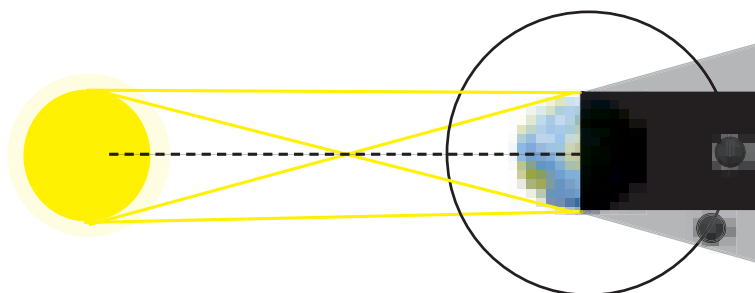
в)



Слика 2. а) Сенка и полусенка Месеца на Земљи, б) Изглед Сунца при његовом потпуном помрачењу (гледају га људи који су у сенци Месеца) в) Изглед Сунца при његовом делимичном помрачењу (гледају га људи који су у полусенци Месеца)

тамо је ноћ. На свака 24 часа, готово свако место на Земљи, са изузетком крајње северних и крајње јужних делова Земље, део дана и ноћи је у сенци, а део дана и ноћи је осветљен сунчевим зрацима. Замислите да је сфера на Слици 1б Земља, а извор који није тачкаст је Сунце. Примећујете да је половина сфере у сенци, а друга половина сфере је осветљена.

Помрачење Сунца је још интересантније. То се дешава када се Месечина налази између Земље и Сунца и омета праволинијско простирање сунчевих зрака. Месец ствара малу област потпуне сенке на Земљи у којој је Сунце потпуно покривено. Таква појава се назива потпуно помрачење Сунца. Око сенке се појављује и полусенка, област на Земљи у коју стижу само део сунчевих зрака.



Слика 3. Сенка и полусенка Земље

У тим областима Земље се види **делимично помрачење Сунца**. Због тога, не могу сви људи на Земљи истовремено да посматрају помрачење Сунца, јер је сенка Месеца много мања од величине Земље.



Слика 4. Делимично и потпуно помрачење Месеца посматрано са Земље при кретању Месеца кроз полусенку и сенку створене од стране Земље.

Када се Земља налази тачно између Сунца и Месеца, кажемо да настаје помрачење Месеца Слика 3. У том случају, Месец улази у сенку Земље. Ако цео Месец уђе у сенку Земље, гледамо потпуно помрачење Месеца. Ако је Месец у сенци или у полусенци, тада гледамо делимично помрачење Месеца. Ако се Месец налази потпуно у полусенци, тада је светлост коју он одбија од своје површине смањена. Будући да је Земља већа од Месеца, сенка коју ствара је већа, па се помрачење Месеца може видети са великог дела планете Слика 4.



Слика 5. Месечеви мени набљудувани од Земјата

Фазе Месеца се појављују затоа што се Месец креће око Земље, а Сунце осветљава само једну његову половину. Са Земље ми у сваком тренутку гледамо различит део осветљене половине, па зато Месец „мења облик“. Промене „облика“ Месеца током сваких 29,5 дана називају се фазе Месеца или Месечеве мене. Оне не настају затоа што Месец заиста мења свој облик, већ затоа што гледамо његову осветљену страну под различитим угловима док се креће око Земље. Када је Месец између нас и Сунца, не видимо његову осветљену половину – то је млад Месец. Када је Земља између Месеца и Сунца и цела осветљена половина Месеца је окренута ка Земљи, видимо пун Месец. Између ове две позиције појављују се различите међуфазе, као прва четврт и последња

четврт, које су резултат тога колики део осветљене површине Месеца се може видети са Земље.



ЗАНИМЛИВОСТИ

Да је Сунце било тачкаст извор, не би постојала полусенка. Све сенке би биле оштре као сенке које ствара ласерска светлост.



АКТИВНОСТИ

1. Истраживање о величини и граници сенке

У овој активности ћеш открити како се мењају величина и граница сенке када се извор светлости постави ближе или даље од предмета. Постави вертикално бели лист папира који ће ти представљати екран на којем ћеш добити сенку од осветљеног предмета. На растојању од приближно 30 cm испред листа папира постави непровидан предмет, на пример оловку или хемијску оловку. Затим, батеријском лампом постављеном на растојање 1 m испред оловке, осветли оловку. Посматрај сенку која ће се појавити на листу. Измери висину, односно дужину сенке лењиром.

Затим приближи лампу за 10 cm ближе предмету и поново измери дужину сенке. Настави тако све док не направиш неколико мерења. Забележи све резултате у табели. Када прикупиш податке, нацртај график: на хоризонталну осу постави растојање од лампе до предмета, а на вертикалну висину сенке. Шта примећујеш? Да ли величина сенке зависи пропорционално од растојања између извора светлости и предмета? Да ли се приближавањем извора светлости непровидном предмету његова сенка повећава? Шта се дешава са величином сенке када извор удаљаваш од предмета? Какве су границе сенке када је извор светлости веома далеко, а какве су када је извор близу предмета?

2. Цртање дијаграма за сенку и полусенку

У свесци нацртај непровидна тела различитог облика, на пример малу лопту, коцку или квадар. Нацртај екран, а затим нацртај различите изворе светлости: један тачкасти и један већи, као што је приказано на Слици 1. Светлост од њих до предмета представљаш зрацима. Нацртај зраке од извора до ивица предмета. Тамо где зраци не могу да прођу, створиће се сенка. Тамо где део зрака допире до екрана, а део не, појавиће се полусенка. Нацртај неколико различитих примера, при чему за сваки предмет нацртај зраке који стижу до њега, ако је осветљен тачкастим извором. Затим направи другу скицу када извор светлости није тачкаст. Шта примећујеш? Када постоји само сенка од предмета, а када постоји и сенка и полусенка?



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Хипарх из Никеје (Hipparchus 190–120 п.н.е.)

Хипарх из Никеје био је један од најважнијих античких астронома и један од првих научника који је системски проучавао сенке које стварају небеска тела. Хипарх је био први који је тачно објаснио фазе Месеца, разликујући их од помрачења и показујући да су фазе резултат различитог угла под којим се гледа осветљена страна Месеца, а не сенке и полусенке коју ствара Земља. Он је развио методе за предвиђање помрачења Месеца, знање које је било од огромне важности за старе цивилизације.

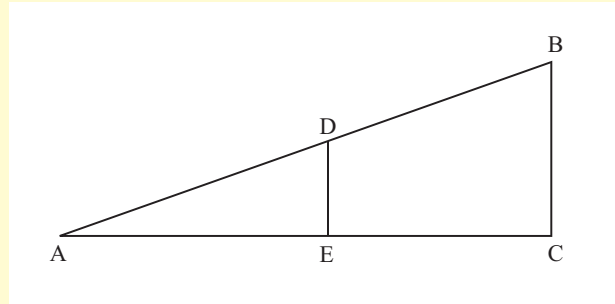
ЗА 5+

Облик и величина сенке створене тачкастим извором могу се прецизно израчунати помоћу сличних троуглова. У геометрији се каже да су два троугла слична ако имају два иста угла. У том случају, њихове одговарајуће странице су пропорционалне. То значи да један може бити већи или мањи, али је облик исти. Троуглови ABC и ADE приказани на Слици 6. су слични.

За ове троуглове важи:

$$\frac{\overline{AC}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{AE}}{\overline{DE}}.$$

Слични троуглови могу се искористити за одређивање величине сенке. Предмет висине $\overline{DE}$ нека буде постављен испред тачкастог извора светлости који је постављен у тачки A. Ако знамо растојање од извора до $\overline{AE}$ и растојање од извора до екрана $\overline{AC}$, тада лако можемо израчунати величину сенке $\overline{BC}$.



Слика 6. Слични троуглови. Геометријска скица добијања сенке на предмету од тачкастог извора.

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Какве разлике постоје између сенке и полусенке.
2. Зашто сенке по сунчаном дану немају оштре границе?
3. Постоје планете у Сунчевом систему које немају природне сателите, као што је Месец. Да ли се на овим планетама може посматрати помрачење Сунца?
4. Зашто се помрачење Месеца може видети са великог дела Земље?
5. Зашто ако је извор велики, сенка је мала, а полусенка већа.

ЗАПАМТИ

- Сенка је потпуно тамна област где не стиже ниједан светлосни зрак од извора светлости ако је постављен испред непровидног предмета.
- Полусенка је делимично осветљена област где стиже само део светлосних зрака.
- Мали, тачкасти извор ствара оштру и јасну сенку, а извор светлости већих димензија ствара сенку и полусенку.
- Многе појаве у природи, као што су помрачење Сунца и Месеца и Месечеве фазе, објашњавају се стварањем сенки и полусенки.

4.3. ОДБИЈАЊЕ СВЕТЛОСТИ

ПОЈМОВИ

одбијање (рефлексија) светлости

паралелан светлосни сноп

упадни агол

угао одбијања

нормала

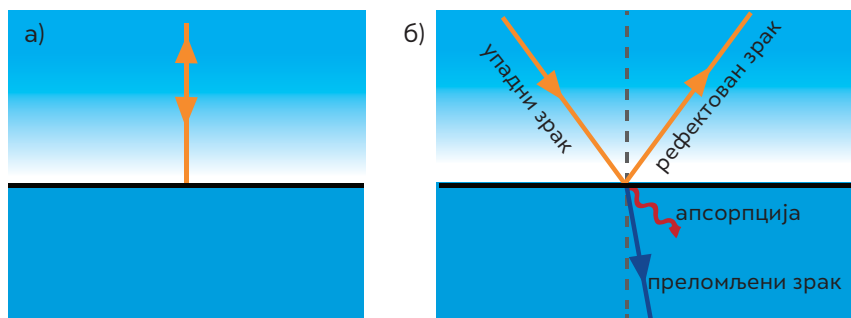
упадни зрак

одбијан (рефлектован) зрак

дифузно одбијање

Закон одбијања светлости

Ако пустимо слободно да пада еластичну лоптицу на тврду подлогу, лоптица ће након одбијања од подлоге променити смер кретања и кретаће се вертикално нагоре. Ако лоптицу бацимо ка подлози под неким углом, након одбијања од подлоге, она ће променити правац кретања.

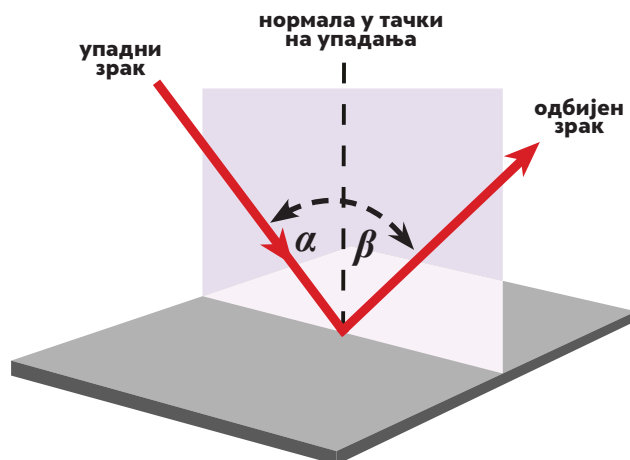


Слика 1. Светлост из ваздуха пада на површину воде.

а) Након одбијања од површине воде, светлост мења само смер ширења б) Након одбијања од површине, светлост мења правац ширења.

Светлост, исто као и лоптица, када пада на неку површину, мења смер или правац ширења. Ова појава се назива **одбијање (рефлексија) светлости**. Када светлосни зрак пада на границу између две провидне средине, може се десити једна или више од следећих појава: светлост да се одбије (рефлектује) од површине, да се упије (апсорбује) на граници или да настави да се протиче у другој средини. При рефлексији светлост може да промени или смер протичања или правац.

Да бисмо описали рефлексију, увешћемо неколико основних појмова. Замисли светлосни зрак који пада на површину – то је **упадни зрак**. У тачки где зрак додирује површину, замислимо полуправу, постављену нормално (под правим углом) на површину. Та полуправа се назива **нормала**.

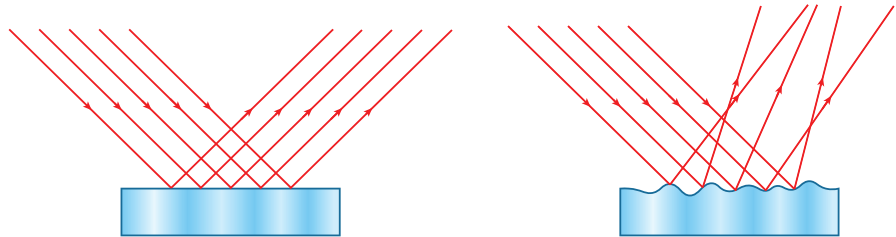


Слика 2. Закон одбијања светлости.

Углови се увек мере у односу на нормалу повучену из тачке упадања. Када светлост се одбије од површине, она се одбија под одређеним углом. Овај зрак се назива **одбијан (рефлектован) зрак** (Слика 2). Угао између упадног зрака и нормале назива се упадни угао, а угао између одбијеног зрака и нормале је угао одбијања или угао **рефлексије**.

Према **Закону одбијања светлости**, светлост се одбија на граници између две средине тако да је упадни угао једнак углу одбијања ($\alpha = \beta$). Притом, упадни зрак, одбијени зрак и нормала леже у истој равни.

Ако извор светлости емитује зраке само у једном правцу, тада имамо паралелан сноп зрака. Сви светлосни зраци у снопу се крећу у истом смеру и њихово међусобно растојање остаје стално дуж ширења. Када паралелан сноп зрака падне на равну површину, сви зраци падају на површину под истим углом и одбијају се под истим углом према закону о одбијању светлости. То значи да зраци у снопу након одбијања остају паралелни. Ако површина на коју пада паралелан светлосни сноп није равна, тада, због малих неравнина, сваки зрак из паралелног снопа пада под углом на површину и под различитим углом се одбија од површине. Одбијени зраци више нису паралелни, већ кажемо да се **дифузно** одбијају.



Слика 3. Одбијање паралелног снопа зрака од равне и од неравне површине.

Дифузно одбијање нам омогућава да видимо предмете око нас. Свака тачка било ког предмета око нас дифузно рефлектује светлост у различитим правцима, па део те светлости стиже до наших очију и омогућава нам да видимо цео предмет.

Појава одбијања светлости је од великог значаја за разумевање огледала, оптичких инструмената, перископа, ласера и многих других уређаја у свакодневном животу.



АКТИВНОСТ

1. Дифузно одбијање од равних и од неравних површина

Узми две различите површине, једну глатку (плочица од стакла са паралелним странама), а другу неравну (квадар направљен од дрвета). Постави их на лист папира тако да можеш да осветљаваш њихове површине ласером који такође лежи на папиру. Да би могао да видиш ласерски сноп у ваздуху, распрши мало прашине од креде. Осветли прво стаклену плочицу. На листу папира нацртај нормалу у тачки где пада ласерски зрак и угломером измери упадни угао и угао рефлексије. Да ли су два угла једнака по величини? Без да помераш ласер, помери плочицу налево или надесно. Поново измери упадни угао и угао рефлексије? Да ли су резултати оба мерења идентични? Сада осветли дрвену плочицу ласером. Повуци нормалу у тачки у којој пада светлост и поново измери упадни угао и угао рефлексије. Помери дрвени блок мало налево или надесно без да помераш ласер. Поново измери упадни угао и угао рефлексије. Да ли су резултати оба мерења за дрвени квадар идентични?



ЗАНИМЉИВОСТИ

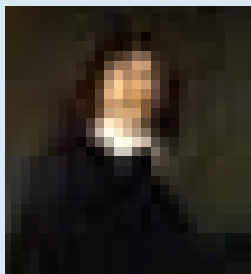
Ласери су светлосни извори који зраче паралелне светлосне снопове.

ЗА 5+

Истражите за колико се мења угао рефлексије уколико се при истом упадном углу огледало окрене око нормале за одређени угао.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Рене Декарт (René Descartes 1596–1650)

Декарт је био француски филозоф, математичар и научник који је значајно допринео развоју оптике. Он је први математички формулисао За-кон одбијања светлости. Декарт је први приметио да брзина светлости није иста у различитим срединама. Његови описи светлосних зрака, нормале и геометрије рефлексије поставили су темеље савремене оптике.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Објасни шта представља одбијање светлости.
2. Зашто нам дифузно одбијање омогућава да видимо предмете око нас?
3. Замисли да си на морској обали и да се сунчеви зраци одбијају од воде. Зашто лик (одраз) сунца на воденој површини изгледа „размазано“, односно није потпуно кружан?
4. Ласерски зрак пада на равну површину под углом од 65° . Изведи активност практично, након тога нацртај цртеж и објасни у ком правцу ће се зрак одбити. Колики је угао одбијања?
5. Светлосни зрак пада на равну површину под углом од 40° у односу на нормалу.
 - а) Колики угао заклапа упадни зрак са равном површином?
 - б) Колики је угао између упадног и рефлектованог зрака?
 - в) Колики угао заклапа рефлектовани зрак са равном површином?



ЗАПАМТИ

- Одбијање или рефлексија светлости је појава при којој светлосни зрак мења смер или правац ширења када пада на границу између две средине.
- Упадни зрак је светлосни зрак који пада на границу између две средине.
- Нормала је замишљена права постављена под правим углом на површину у тачки у којој пада упадни зрак.
- Одбијени (рефлектовани) зрак је зрак који се након одбијања шири у другом правцу. Упадни угао је угао који заклапају упадни зрак и нормала.
- Угао одбијања је угао који заклапају одбијени зрак и нормала.
- Упадни угао је једнак углу одбијања.
- Паралелни зраци након одбијања од равне површине остају паралелни.
- Паралелни зраци након одбијања од неравне површине дифузно се рефлектују.

4.4. РАВНО ОГЛЕДАЛО И ЛИК КОД РАВНОГ ОГЛЕДАЛА

ПОЈМОВИ

лик/слика на предмета

огледална симтерија

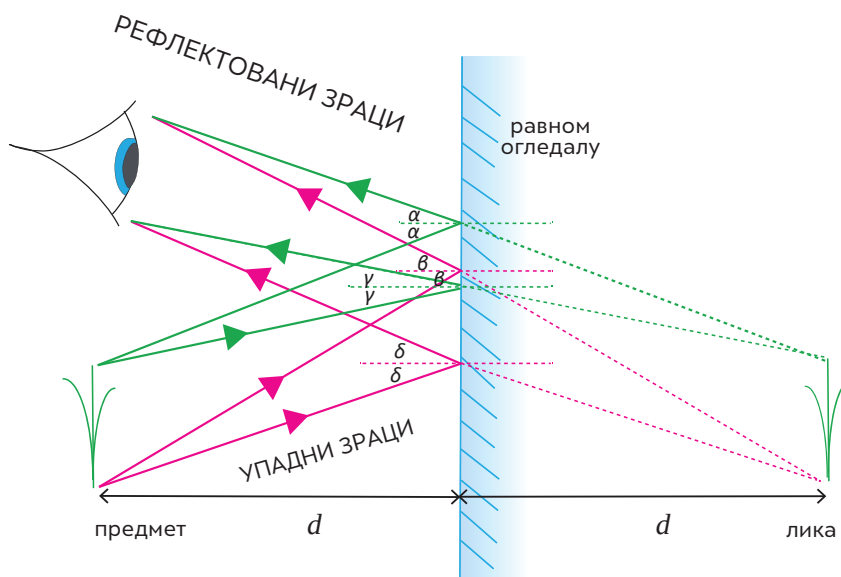
имагинарни лик

реални лик

Свакодневно када се гледамо у огледало, наизглед гледамо слику или лик који изгледа идентично као ми, али се налази „иза“ стаклене површине. Како настаје овај лик? Одговор се крије у појави одбијања светлости и у начину на који одбијени светлосни зраци од огледала падају у наше очи.

Равно огледало је глатка, равна површина која у потпуности одбија светлост. Када светлосни зраци који долазе од неког предмета падају на огледало, они се одбијају према Закону одбијања светлости. Одбијени зраци од огледала падају у наше очи. Очи и мозак имају осећај само за праволинијско простирање светлости, па због тога добијамо информацију да светлост потиче из тачке која се налази у пресеку продужетка одбијених зрака унутар огледала.

На тај начин имамо осећај да се предмет налази иза површине огледала. То што гледамо назива се **лик** или **слика предмета** у равном огледалу. На Слици 1. је приказано формирање лика у равном огледалу помоћу зрака који се одбијају од огледала у складу са Законом о одбијању светлости. Ради поједностављања слике, дато је формирање лика само од две тачке биљке. Забележите да су упадни угао и угао одбијања једнаки за све зраке.

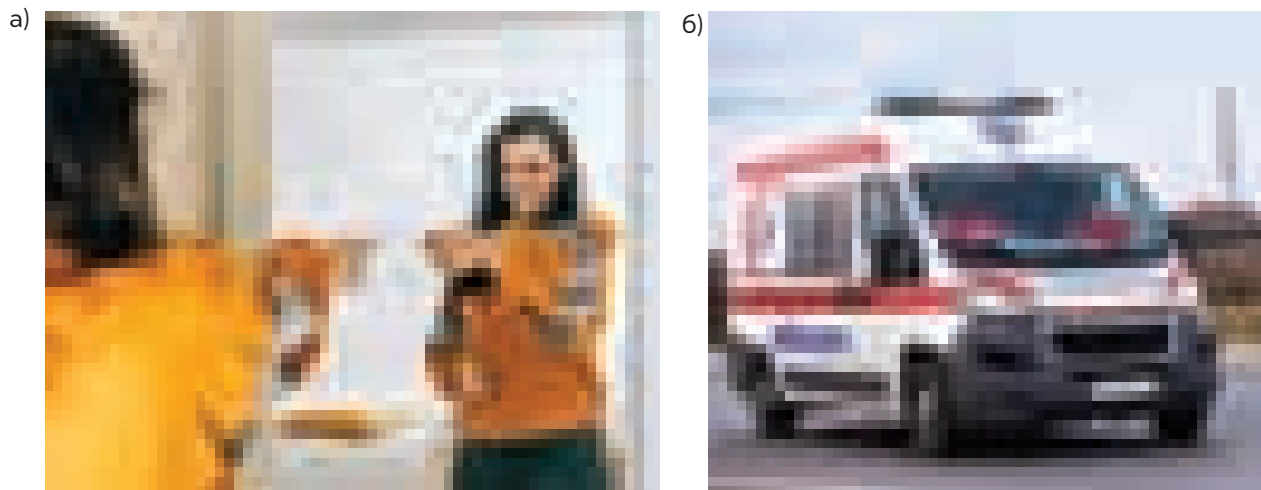


Слика 1. Формирање лика код равнoг огледала помоћу дијаграма зрака. Из сваке тачке се цртају два зрака који након одбијања од огледала улазе у око посматрача.

У продужетку тих зрака иза огледала се формира имагинарни лик.

За лик који гледамо каже се да је **имагинарни лик**, створен у продужетку одбијених зрака иза огледала. Имагинарни лик има исти облик и величину као и предмет. Он је на истој удаљености од огледала као и предмет. Лик предмета код равнoг огледала увек је имагинаран. Имагинарни лик, за разлику од реалног лика (на пример, као пројекција лика у биоскопу), не може да се пројектује на екран.

Лик у равном огледалу има **огледалну симетрију** са предметом. То значи да лева страна предмета постаје десна страна лика. Ово је разлог зашто слова изгледају „напокако“ када их гледамо у огледалу.

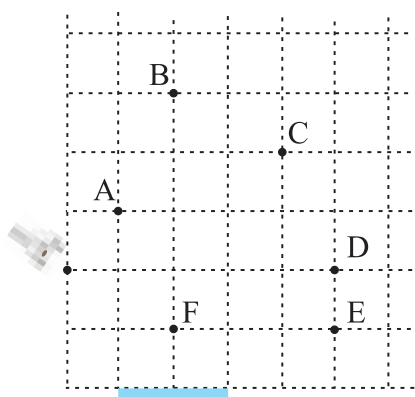


Слика 2. а) Десна рука девојке је лева рука код лика у огледалу б) Реч (AMBULANCE) може правилно да прочита возач гледајући у огледало испред себе.
Текст на предњем делу возила Хитне помоћи и његов лик у огледалу имају огледалну симетрију.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

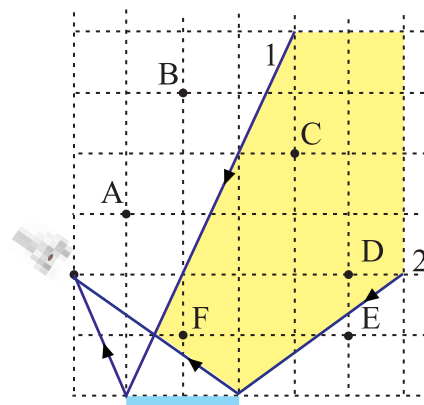
Које од тачака А, В, С, D, Е и F приказаних на слици испод може да види око гледајући у огледало?



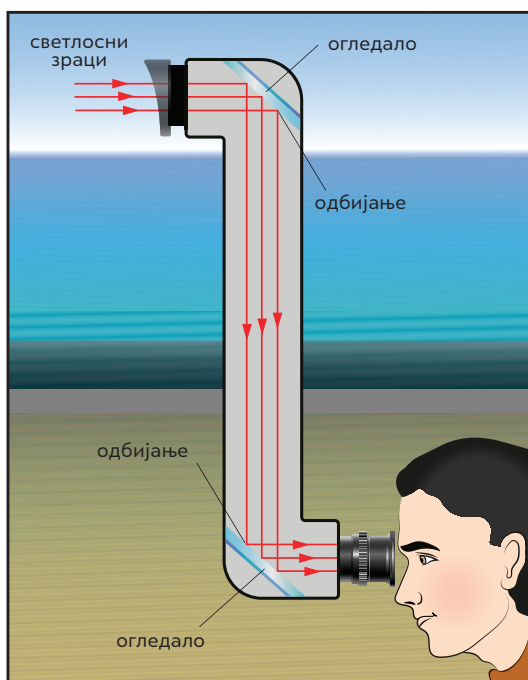
Решение:

Решење:

На оба краја огледала цртамо зраке који, када се одбију од огледала, могу пасти у око као што је приказано на слици испод. Користећи Закон о одбијању светлости, упадни и одбијени зрак треба да заклапају исти угао са нормалом у тачки у коју пада светлосни зрак. Зраци 1 и 2 су такви гранични зраци. Цело-купан простор између ова два зрака назива се видно поље и сваку тачку у видном пољу око може да види. Према томе, за око су видљиве тачке C, D и F.



Равна огледала се користе свуда: у купатилима, перископима, оптичким инструментима, па чак и у архитектури и уметности, односно свуда где треба да се промени правац ширења светлосних зрака.



Слика 3. Перископ је уређај који омогућава морнарима у подморницама да гледају изнад површине воде. Зраци који долазе од предмета изнад воде се помоћу два равна огледала усмеравају ка оку морнара.



АКТИВНОСТИ

1. Експериментално одређивање положаја лика код равног огледала

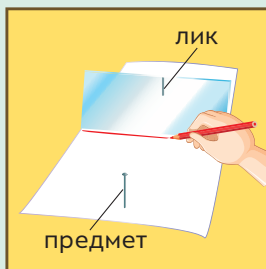
Први начин: Узми мало равно огледало и лист белог папира. Постави огледало вертикално тако да његова доња ивица лежи тачно на средини листа. Постави предмет, на пример, ексер испред огледала, на растојању од приближно 10 cm. Док држиш огледало стабилно, погледај предмет. Посматрај: видиш да се лик предмета појављује иза огледала, као да стоји на некој замишљеној хоризонталној површини у унутрашњости, као што је приказано на Сlici 4а. На коликаком растојању се налази имагинарни лик од огледала? Док држиш поглед у огледалу, забележи тачан положај лика, односно на листу папира, са стране иза огледала покушај да означиш место где сматраш да би се налазио лик ако је огледало провидно. Не подижи главу. Остани у истом положају да би био сигуран да тачку бележиш из исте перспективе гледања.

Када означиш ову тачку, склони огледало. Сада можеш да измериш удаљеност између предмета и огледала и удаљеност између огледала и тачке коју си означио као положај лика.

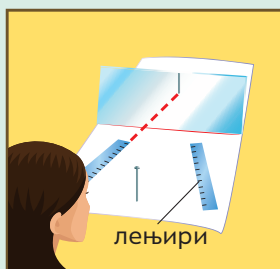
Открићеш да је растојање приближно исто. Понови експеримент са предметом на различитим растојањима: 5 cm, 15 cm, 20 cm... Сваки пут треба да добијеш исти резултат - лик у равном огледалу се увек појављује на истом растојању иза огледала као и предмет испред њега.

Други начин: Као и у претходном делу, постави предмет испред вертикално постављеног огледала на лист папира, као што је приказано на Сlici 4а. На лист папира постави два лењира који ће бити усмерени ка лику предмета у огледалу, као што је приказано на Сlici 4б. Сада повуци праве, користећи лењире до огледала. Уклони огледало и продужи праве до њиховог пресека, као што је приказано на Сlici 4в. У пресечној тачки правих је положај лика у огледалу. Да ли је растојање од предмета до огледала и од огледала до лика једнако? Забележи да се продужеци одбијених зрака иза огледала тачно секу у тачки где си означио положај лика.

а)



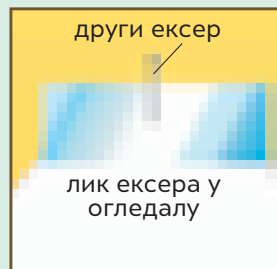
б)



в)



г)



Слика 4 а) Постављање предмета испред вертикалног огледала и означавање положаја огледала, б) Постављање два лењира усмерена ка предмету в) Повлачење правих лењирима до тачке њиховог пресека г) Провера тачности добијених резултата.

Уколико желиш да провериш тачност експеримента, на месту где се секу праве, иза огледала, постави други исти такав предмет, као што је приказано на слици 4г. Ако се други клинац постави у исти положај у којем се налази лик првог ексера, без обзира на положај из којег посматраш, тада је тачно одређено место на којем се налази лик

Овај једноставан експеримент ти показује да лик у равном огледалу не постоји реално иза њега, већ се ствара на месту где се замишљено секу продужеци одбијених зрака. Зато кажемо да је лик имажинаран, али се његов положај може тачно одредити.

2. Изучавање формирања лика помоћу равног огледала на интерактивној интернет страници

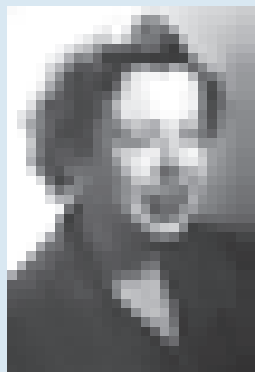
Отвори симулацију „Геометријска оптика: Основе“ (Geometric Optics: Basics) на интернет страници: https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics-basics/latest/geometric-optics-basics_all.html и истражи формирање ликова код равног огледала. На симулацији ћеш приметити предмет, најчешће свећу или стрелицу, и равно огледало постављено испред ње. Твој задатак је да разумеш пут зрака и да откријеш где и како се ствара лик предмета који гледаш у огледалу.

Почни тако што ћеш пажљиво посматрати светлосне зраке који се шире од предмета. Ако укључиш опцију за приказивање зрака, видећеш да се они крећу у различитим правцима, али само део њих ће стићи до огледала и одбити се. Да ли се зраци који падају на огледало одбијају под истим углом под којим падају на њега? Да ли ово правило важи за све зраке, без обзира где дотакну површину огледала? Затим почни да помераш предмет ближе и даље од огледала. Притом, посматрај лик који се појављује „иза“ огледала. Забележи да ли се лик помера при померању предмета и да ли се налази на истом растојању иза огледала као и предмет испред њега. Да ли је овај лик реалан или имажинаран. Да ли светлост заиста долази са места где гледаш лик или твој мозак ствара лик у продужецима рефлектованих зрака?

Сада накоси огледало мало налево или надесно. Пази како се мењају правци одбијених зрака. Лик предмета ће се такође преместити, па ћеш моћи да видиш да се при промени положаја огледала мења и положај лика. Да ли и у овом случају важи Закон одбијања светлости од равног огледала?



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Марија Геперт-Мајер (Maria Goeppert-Mayer, 1906–1972)

Геперт-Мајер је била немачко-америчка физичарка која је своју научну каријеру започела истраживањима у оптици. У раним годинама радила је са сложеним системима састављеним од равних огледала за прецизно усмеравање светлости у лабораторијским условима, чиме је допринела развоју метода за проучавање светлости и њеног одбијања. Она је проучавала процесе апсорпције и кретање светлости у оптичким системима, што је повезује директно са принципима рефлексије и одбијања светлосних зрака. Касније, Геперт-Мајер за објашњење структуре атомског језгра 1963. године добила Нобелову награду за физику, постајући друга жена у историји са оваквим признањем.



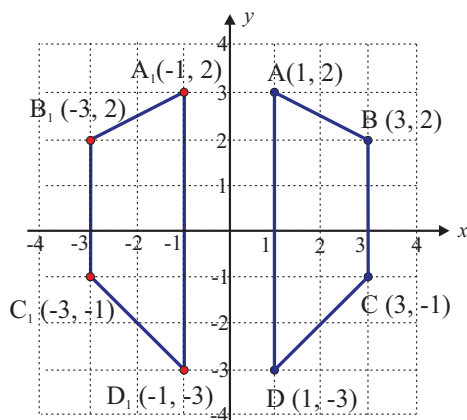
ЗАНИМЉИВОСТИ

Огледала су кључна за оптичке илузије у театру. Понекад целе сцене се стварају са једним великим равним огледалом.

ЗА 5+

Ако огледало замислимо као вертикалну равнину, тада свака тачка на предмету има своју симетричну тачку иза огледала. Постоје и математичке трансформације које описују ово одношење. У геометрији, свака тачка са координатама (x, y) има огледално (осно) симетричну тачку $(-x, y)$ у односу на y -осу у Декартовом правоугаоном координатном систему. Овај принцип стоји иза свих огледала и објашњава зашто десна страна предмета је лева страна лика.

Истражи какве друге симетрије постоје у геометрији и у физици.



Слика 5. Слика при осни симетрија у односу на y -осу на трапез $ADCB$ је трапез

$A_1D_1C_1B_1$. Тачка са координатама (x, y) прелази у тачку са координатама $(-x, y)$.

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Опиши карактеристике лика од предмета што се добија са равним огледалом.
2. Букву „Ф“ велимо да има огледалну симетрију. Које друге букве у македонској азбуци имају огледалну симетрију?
3. Стојиш 40 cm пред равним огледалом. На које растојање иза огледала се наођа твој лик?
4. Пред равним огледалом на растојање од 25 cm од огледала је постављена свећа. Нацртај дијаграм на светлосни зраци и конструирај лик на свеће у огледалу.
5. На 1,35 m пред равним огледалом стоји ученик. Пресметај растојање између човека и његовог лика ако човека:
 - а) Се доближи за 15 cm до огледала,
 - б) Се оддалечи за 35 cm од огледала.

ЗАПАМТИ

- При одбијању од равнoг огледала, светлосни зраци се одбијају према Закону за рефлeксију, па зато може тачно да предвидимо и да конструишемо где ће бити лик.
- Предмет и лик у равном огледалу су једнаки по величини.
- Равно огледало секогаш дава имагинарен лик.
- Лик је симетричан са предметом у односу на равнину на огледала, односно велимо да постоји огледална симетрија.
- Лик предмета добијен равним огледалом је на истом растојању од огледала као и предмет.

4.5. СФЕРНА ОГЛЕДАЛА

ПОЈМОВИ

сферно огледало

удубљено/конкавно

теме и фокус
сферног огледалакарактеристични
зраци

испупчено/конвексно

центар

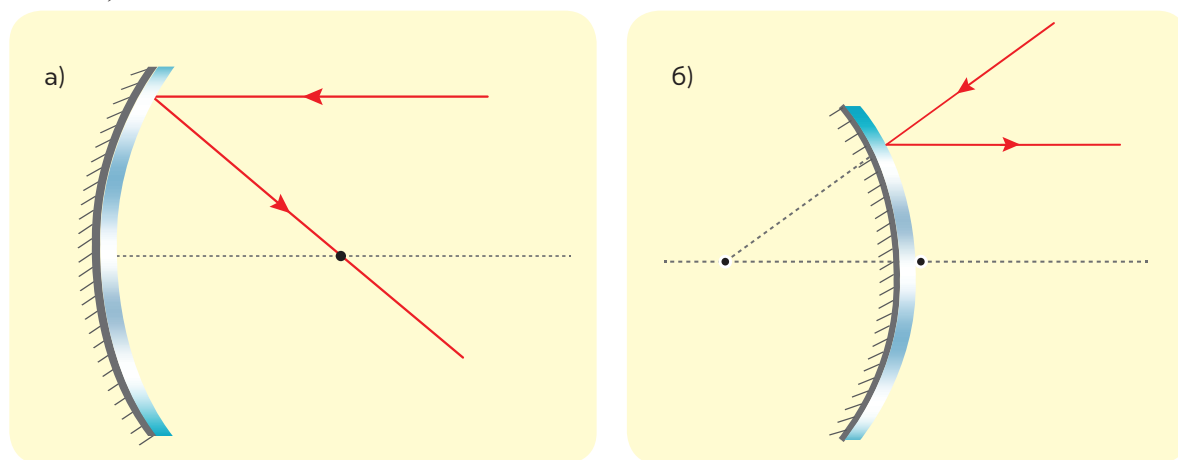
оптичка оса

радиус на
закривљености

фокусно растојание

Већина огледала које срећемо у свакодневном животу су равна огледала. У науци, индустрији и у свакодневици веома су важна и такозвана **сферна огледала**. Сферна огледала представљају делове сферне површине који имају способност да рефлектују светлост.

Сферно огледало може бити **удубљено (конкавно)**, ако је рефлектујућа, односно огледална страна на унутрашњој страни сферне површине, или **испупчено (конвексно)**, ако се рефлектујућа површина налази на спољашњој страни сферне површине (Слика 1).

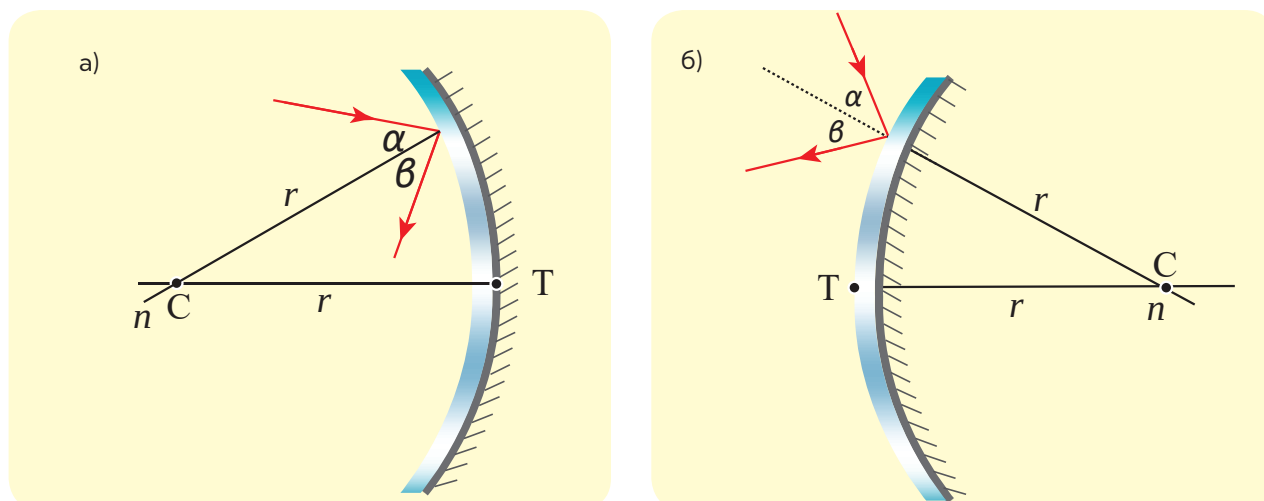


Слика 1. а) Удубљено (конкавно) огледало б) Испупчено (конвексно) огледало.

Свако сферно огледало можемо једноставно описати са неколико тачака и линија које називамо **елементима сферног огледала**. Они су важни за разумевање тога како се одбија светлост и како се добија лик код сферног огледала.

Замислимо сферу из које је „исечено“ огледало, као што је приказано на Слици 2. Центар те сфере се назива **центар закривљености** (означен са C), а растојање од центра замишљене сфере до површине огледала се назива **полупречник закривљености** (означен са r). **Теме** огледала је најистуренија тачка конвексног огледала или најудубљенија тачка код конкавног огледала (означена са T). **Главна оптичка оса** је права која пролази кроз теме огледала и центар закривљености (права TC) и она представља најважнију замишљену линију код сферних огледала.

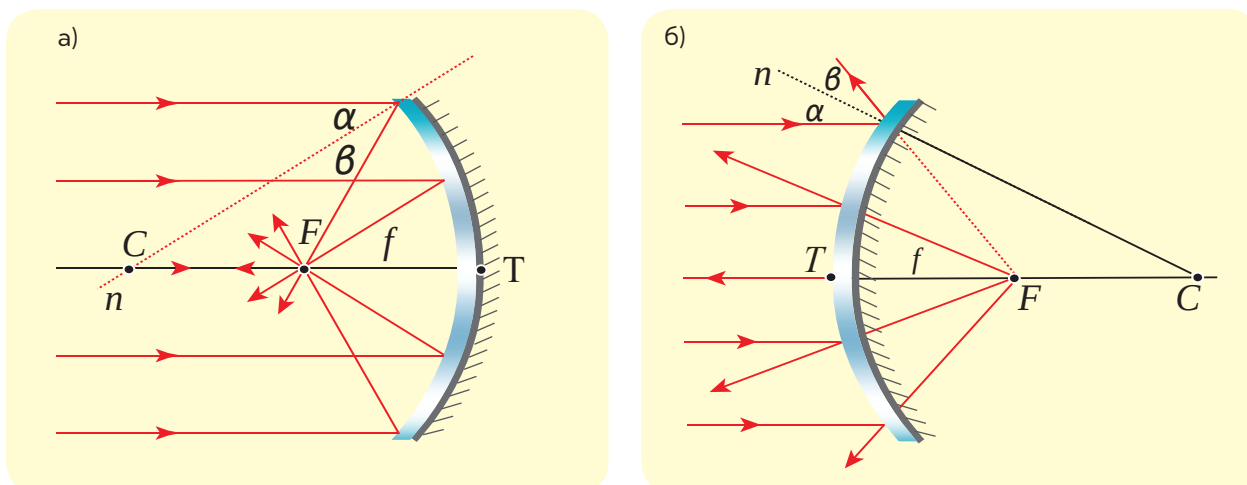
Закон одбијања светлости важи и код сферних огледала. Зрак који пада под одређеним углом на површину огледала одбија се под истим углом ($\alpha = \beta$). Радиус повучен из центра огледала до тачке у којој пада зрак нормалу у тој тачки.



Слика 2. Елементи а) удубљеног и б) испупченог сферног огледала.

Један од најкарактеристичнијих елемената сферног огледала је његов **фокус**. Када на удубљено огледало падају зраци који су паралелни са главном оптичком осом, након одбијања се сакупљају у једној тачки на оптичкој оси (Слика 3а). Та тачка се назива фокус удубљеног огледала. Због ове карактеристике, да се паралелни зраци са главном оптичком осом сакупљају у једној тачки, удубљена огледала се називају још и **сабирна огледала**. За фокус код удубљених огледала кажемо да је **реалан**.

Код испупчених огледала, паралелни зраци са оптичком осом који падају на огледало се одбијају и не сакупљају се у једној тачки, већ се расипају у простору. Продужеци ових зрака се секу у тачки иза огледала, која је фокус испупченог огледала (Слика 3б). Зато, за фокус код испупченог огледала кажемо да је **имагинаран**. Због расипања паралелних снопова зрака након одбијања од површине испупченог огледала, ова огледала се називају још и **расипна огледала**. Растојање од темена до фокуса се назива **фокусно растојање**, а за сферна огледала се показује да је то растојање једнако половини радијуса кривине, односно:

$$f = \frac{r}{2}.$$


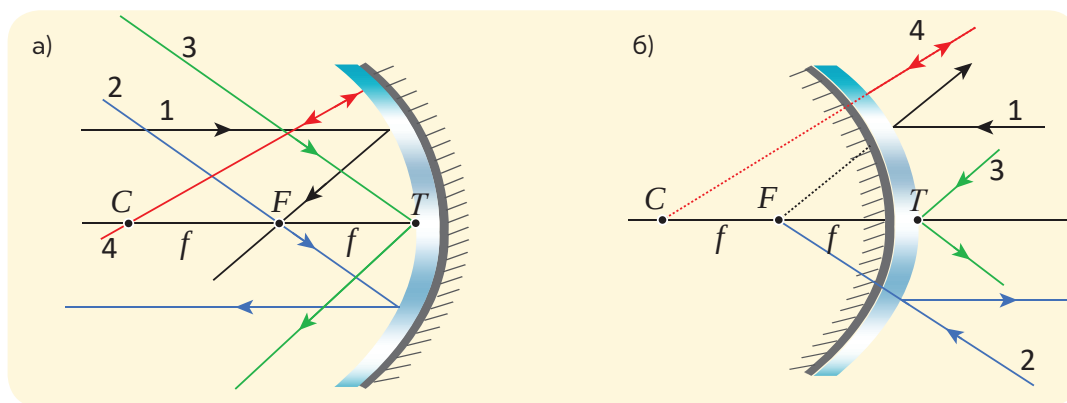
Слика 3. Фокус код а) Удубљеног или сабирног огледала и б) Испупченог или расипног огледала.

За лакше конструисање ликова код сферних огледала, користимо карактеристичне зраке. Они се могу лако пратити и предвидети њихов пут, без обзира на то где се налази предмет. Код удубљеног огледала карактеристични зраци су:

1. зрак који се простира паралелно са главном оптичком осом након одбијања од огледала пролази кроз фокус огледала (зрак 1 на слици 4а)
2. зрак који пролази кроз фокус након одбијања од огледала је паралелан са главном оптичком осом (зрак 2 на слици 4а)
3. зрак који пада у теме огледала под одређеним углом у односу на главну оптичку осу се одбија под углом исте величине као упадни угао, (зрак 3 на слици 4а)
4. зрак који пролази кроз центар кривине након одбијања од огледала не мења свој правац, већ само смер простирања (зрак 4 на слици 4а)

Карактеристични зраци код испупченог огледала су:

1. зрак који иде паралелно са главном оптичком осом се одбија од огледала као да долази из имагинарног фокуса (зрак 1 на слици 4б)
2. зрак који пада ка имагинарном фокусу након одбијања од огледала је паралелан са оптичком осом (зрак 2 на слици 4б)
3. зрак који пада у теме под одређеним углом у односу на главну оптичку осу се одбија под углом исте величине као упадни угао (зрак 3 на слици 4б)
4. зрак који пада ка центру кривине након одбијања од огледала не мења свој правац, већ само смер простирања. (зрак 4 на слици 4б)



Слика 4. Карактеристични зраци код а) Удубљеног огледала и б) Испупченог огледала.

Коришћењем ових зрака, може се једноставно конструисати лик предмета постављеног испред сферног огледала.

ЗА 5+

Слични троуглови у најопштијем случају су троуглови који имају два иста угла. Идентификуј који троуглови су слични ако нацрташ тачкасти извор и од њега карактеристичне зраке који се одбијају од удубљеног огледала, након чега се секу у једној тачки.



АКТИВНОСТ

1. Лик тачкастог извора код сферног огледала

Испред удубљеног и испупченог огледала нацртајте тачкасти извор светлости који није постављен на главну оптичку осу. Нацртајте карактеристичне зраке који излазе из извора и одредите где се секу након одбијања од сферних огледала. Дискутујте шта представља тачка пресека тих зрака. Дискутујте да ли сви ученици добијају идентичне резултате. Да ли се карактеристични зраци код испупченог огледала секу у једној тачки? Продужите рефлектоване зраке код испупченог огледала иза огледала. Да ли се они секу?



ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Алхазен или Ибн ал-Хајтхам (Ibn al-Haytham 965–1040)

Ибн ал-Хајтам је био арапски физичар и математичар који је први систематски проучавао сферна огледала, њихова фокусна растојања и понашање светлосних зрака при одбијању од сферних огледала. Он је детаљно анализирао геометрију удубљених огледала и објаснио појаву фокусирања паралелног снопа светлосних зрака. Његово највеће дело „Књига о оптици“ представља основу модерног проучавања светлости. Многе од метода које је увео, укључујући и употребу карактеристичних светлосних зрака и

и геометријских конструкција ликова, и данас се користе при проучавању и при цртању ликова код сферних огледала.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Кашика је одличан пример за сферно огледало: једна страна је конвексна, друга конкавна.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта представља центар кривине и где се налази код сферног огледала?
2. У чему се састоји разлика између оптичке осе и фокусног растојања?
3. Ако је полупречник кривине огледала 60 cm, одреди фокусно растојање.
4. Удубљено огледало има фокусно растојање од 25 cm. Колики је полупречник кривине?
5. На удубљено сферно огледало падају 4 паралелна зрака који са главном оптичком осом заклапају угао α . Нацртај простирање ових зрака након одбијања од огледала и одреди који се од зрака секу у једној тачки.



ЗАПАМТИ

- Постоје две врсте: удубљено (конкавно) и испупчено (конвексно) огледало.
- Теме је најудубљенија тачка код удубљеног огледала или најистуренија тачка код испупченог огледала.
- Центар кривине је центар сфере из које је „исечено“ огледало.
- Главна оптичка оса је права која пролази кроз теме и кроз центар кривине.
- Фокус је тачка у којој се секу одбијени зраци који су пали на огледало, паралелно са главном оптичком осом.
- Фокусно растојање је једнака половини полупречника кривине.

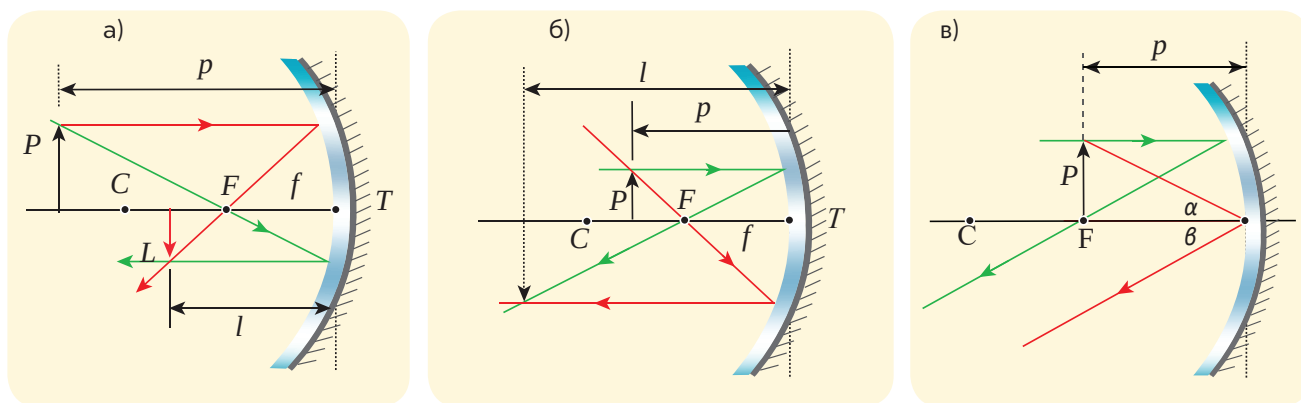
4.6. КОНСТРУКЦИЈА ЛИКОВА КОД СФЕРНИХ ОГЛЕДАЛА

Положај и карактеристике ликова који се добијају сферним огледалима размотрићемо за најједноставнији случај, када је предмет у облику стрелице. У оваквом случају потребно је да одредимо лик само најудаљеније тачке предмета од оптичке осе. Све преостале тачке налазе се на нормали повученој из ове тачке до оптичке осе.

Лик код удубљеног огледала

Када је предмет постављен испред удубљеног огледала, зависно од његовог положаја у односу на фокус и центар, могу се добити различити ликови.

1. Предмет је постављен даље од центра кривине (C), односно на растојању већем од полупречника огледала ($p > r$), како је приказано на Слици 1а. Добијени лик је умањен, преврнут и реалан, а налази се између центра кривине и фокуса ($f < l < r$).
2. Ако се предмет налази у центру кривине, тада ће лик бити исте величине као предмет, реалан и преврнут.
3. Ако се предмет налази између центра кривине (C) и фокуса (F), ($f < p < r$), како је приказано на Слици 1б, лик ће бити увећан, преврнут и реалан, и налазиће се на растојању већем од полупречника кривине сферног огледала ($l > r$).
4. Ако је предмет постављен у фокусу огледала ($p = f$), како је приказано на Слици 1в, тада се након одбијања зрака од огледала они не секу, односно паралелни су, па кажемо да се лик формира бесконачно далеко од огледала (кажемо да је лик у бесконачности).



Слика 1. Конструкција ликова код удубљеног огледала а) Предмет је на већем растојању од полупречника огледала б) Предмет је на растојању већем од фокусног растојања, али мањем од полупречника огледала в) Предмет је постављен у фокусу огледала.

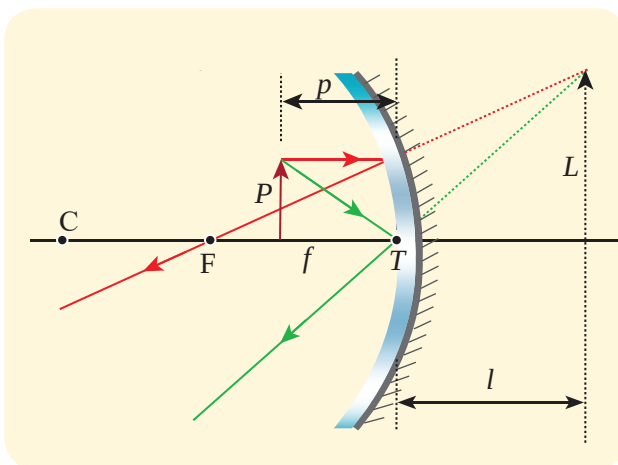
На свакој од слика са p је означено растојање од предмета до огледала, са l је означено растојање од огледала до лика, r је полупречник огледала, а са f је означено фокусно растојање. Висина предмета је означена са P , а висина лика са L . Ове ознаке ће бити коришћене и на следећим сликама.

На Слици 1 је приказана конструкција ликова у сваком од три случаја. Ради прегледности на свакој слици, нацртана су само по два карактеристична зрака.

Реални ликови добијени помоћу удубљеног огледала могу се добити на екрану (на пример, белом листу папира), постављеном на истој страни на којој је постављен и предмет испред огледала. Други начин да се види лик је да се постави око у положај где се формира лик.

Помоћу удубљеног огледала може се добити и имагинарни лик.

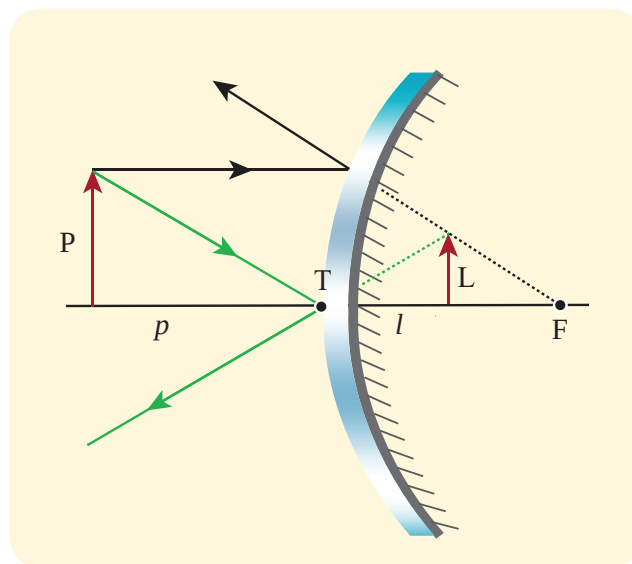
5. Ако је предмет постављен између темена и фокуса ($p < f$), као што је приказано на Слици 2, тада одбијени зрацисе не секу испред огледала. Ако их продужимо испрекиданим линијама, они ће се сећи иза огледала. Овако добијени лик кажемо да је имагинаран. Зраци који долазе у наше око изгледају као да потичу из тачке иза огледала. Имагинарни лик код удубљеног огледала увек је већи од предмета и за разлику од реалних ликова овај лик није преврнут. Конструкција имагинарног лика предмета помоћу удубљеног огледала приказана је на Слици 2.



Слика 2. Конструкција имагинарног лика предмета код удубљеног огледала. Предмет је постављен на растојању мањем од фокусног.

Лик код испупченог огледала

Ликови код испупченог огледала увек су имагинарни, усправни и умањени, без обзира где је постављен предмет. Колико се предмет удаљава од огледала, толико се његов лик умањује, а његов положај се приближава фокусу. Ако је предмет у бесконачности, тада је лик у фокусу. На Слици 3 је приказана конструкција лика код испупченог сферног огледала са карактеристичним зрацима. Лик се формира у продужетку одбијених зрака.



Слика 3. Конструкција лика код испупченог огледала.

Примена сферних огледала

Удубљена огледала играју важну улогу на местима где је потребно сакупљање или фокусирање светлости. Пошто могу да формирају увећан и јасан имагинаран лик када је предмет близу огледала, она се користе у стоматологији, где стоматолог треба прецизно да види ситне детаље на зубу. Иста способност за стварање увећаног имагинарног лика чини их корисним за израду огледала која се користе у козметици, где се лице види веће и јасније. Удубљена огледала су неопходна и у техничким уређајима: аутомобилски рефлектори усмеравају светлосне зраке у паралелни сноп са циљем да се осветли веће растојање испред аутомобила.



Слика 4. Удубљена сферна огледала у а) стоматологији, б) код светала аутомобила и у в) техници за сакупљање (фокусирање) светлосних зрака у једну тачку и природно загревање предмета до високе температуре

Испупчена огледала се употребљавају тамо где треба да се добије умањен лик предмета, односно да се постигне широко видно поље. Пошто зраци који падају на њих дају умањен, али усправан имагинаран лик, ова огледала стварају ликове многих предмета који су постављени испред њих. Зато их срећемо у аутомобилским бочним ретровизорима, где возач треба да има потпун поглед на пут иза себе, као и на раскрсницама, у гаражама и супермаркетима, где додатна прегледност значи већу безбедност.



Слика 5. Испупчена сферна огледала а) Постављено да возач има јасан поглед при изласку возилом са паркинг-места б) Ретровизор аутомобила



АКТИВНОСТИ

1. Истраживање лика добијеног удубљеним огледалом

Постави удубљено огледало на држач и испред њега свећу или мали предмет (оловку или стрелицу направљену од картона). Постави лист папира који ће служити као екран наспрам огледала. Постави предмет далеко од огледала, даље од центра кривине. Полако приближавај предмет дуж оптичке осе ка огледалу. Набљудувај како се мења лик који се ствара на екрану. Да ли је лик реалан и већи, мањи или исти као предмет? Када је лик мањи, већи или исти у односу на величину предмета? Када престаје да се формира лик на екрану? Постави предмет између његовог фокуса и огледала и забележи какав се лик види у огледалу. Да ли можеш да добијеш лик на екрану? Сада постави предмет у фокус огледала. Да ли можеш да добијеш лик на екрану или да га видиш у огледалу?

2. Истраживање лика добијеног испупченим огледалом

Узми испупчено огледало (може бити и ретровизор аутомобила) и постави мали предмет испред њега. Приближавај и удаљавај предмет од огледала и набљудувај лик. Да ли је лик реалан – да ли можеш да га добијеш на екрану? Да ли се његова величина значајно мења са повећањем растојања од предмета до огледала? Да ли је лик увећан или умањен у односу на величину предмета.

3. Изучавање формирања лика код сферних огледала помоћу интерактивне интернет-странице

Отвори симулацију „Геометријска оптика“ (Geometric Optics) на интернет-страници:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html и истражи формирање ликов код сферних огледала. На екрану ћеш приметити предмет (свећу или стрелицу) и могућност да бираш између удубљеног и испупченог огледала. Твој задатак је да истражиш карактеристичне зраке, да откријеш како се ствара лик у зависности од тога какво сферно огледало користиш и на ком растојању се налази предмет од огледала.

Почни тако што ћеш изабрати удубљено огледало. Укључи зраке како би могао да пратиш њихов пут. Набљудувај три карактеристична зрака које приказује симулација. Забележи где се секу одбијени зраци и где се ствара лик. Помери предмет ближе огледалу, па даље. Да ли се величина и положај лика мењају? Да ли је реалан или имагинаран? Да ли је усправан или обрнут?

Затим изабери испупчено огледало и набљудувај како се сваки од карактеристичних зрака који падају на огледало одбија тако да изгледа као да потиче из тачке иза огледала. Помери предмет на различита растојања и забележи да ли лик постаје већи, мањи или остаје исте величине. Да ли се у испупченом огледалу икада може добити реалан лик?

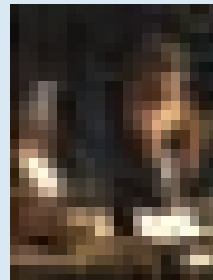
Промени радијус закривљености огледала и забележи како се мења фокусно растојање огледала. Размисли шта ово значи за формирање лика и како се ово сазнање примењује код свакодневних огледала, фарова, телескопа и код оптичких инструмената.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Архимед (Archimedes 287–212 пр.н.е.)

Архимед је један од највећих научника античког света, познат по својим открићима у математици и физици (у 7. разреду учио си о Архимедовом закону полуге и о Архимедовој сили потиска). Мање је позната чињеница да је он проучавао и одбијање светлости. Према легенди, Архимед је користио велика удубљена огледала да фокусира сунчеву светлост и запали непријатељске бродове током опсаде Сиракузе. Иако историјска истинитост ове легенде није у потпуности потврђена, данас знамо да удубљена огледала могу да сакупљају сунчеву светлост у једној тачки, односно у фокусу огледала, и значајно повећају њен интензитет у тој тачки.





ЗАНИМЛИВОСТИ

Удубљена огледала се користе код телескопа за сакупљање веома слабе светлости која потиче из далеких галаксија.

ЗА 5+

Један од важних закључака у оптици сферних огледала је математичка веза између фокусног растојања (f), удаљености предмета од огледала (p) и удаљености lika од огледала (l). Та веза се назива једначина сферног огледала:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l}.$$

У горњој једначини фокусно растојање се узима као негативна ако је огледало испупчено. Ако је лик који се добија огледалом имагинаран, тада се за удаљеност lika од огледала добија негативна вредност. Ова једначина омогућава израчунавање положаја lika без његове графичке конструкције.

Количник величине lika и величине предмета је увећање огледала u . Увећање огледала може се израчунати и као количник удаљености lika од огледала и предмета од огледала:

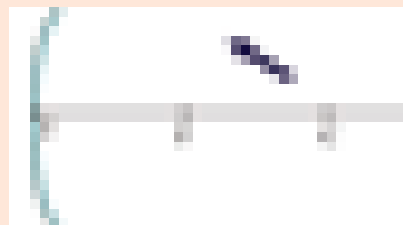
$$u = \frac{L}{P} = \frac{l}{p},$$

где је L висина lika, а P висина предмета. Удаљеност предмета од огледала је p , а удаљеност lika од огледала је l . Ако је количник L/P (или l/p) већи од 1, тада је лик увећан, а ако је мањи од 1, лик је умањен у односу на предмет. Ако је овај количник једнак 1, тада су предмет и лик исте висине.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. У свесци конструиши лик предмета који се налазе на удаљености од 5 cm, 10 cm и 15 cm испред испупченог огледала. Фокусно растојање испупченог огледала је 5 cm. Шта се дешава са величином lika ако је предмет постављен на већу удаљеност од огледала. Огледало нацртај шestarом.
2. Предмет висок 2 cm даје реалан лик висок 4 cm помоћу удубљеног огледала. Да ли је предмет ближе или даље од фокусног растојања? Образложи свој одговор!
3. Предмет се налази на 8 cm испред удубљеног огледала, са фокусним растојањем од 5 cm. Уз помоћ карактеристичних зрака, одреди где ће се формирати лик.
4. Предмет висок 5 cm стоји на удаљености од 15 cm испред испупченог огледала са фокусним растојањем од 10 cm. Конструиши лик и одреди његову висину.
5. Конструиши лик предмета у облику стрелице који је постављен испред удубљеног огледала, као што је приказано на слици.



ЗАПАМТИ

- Лик код удубљеног огледала може бити реалан или имагинаран, у зависности од удаљености предмета од огледала.
- Испупчено огледало увек даје усправан и умањен лик који је имагинаран, без обзира где је постављен предмет.

4.7. ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ

ПОЈМОВИ

преламање/
рефракција
светлости

провидна средина

оптичка средина

угао
преламањаиндекс
преламања

непровидна средина

транспарентност/
пропустљивост
светлости

брзина светлости

преломљени
зракпланпаралелна
плоча

Светлост може да прође кроз неке материјале, а кроз неке не може. Познато је да су ваздух, стакло, вода и неке врсте пластике **прозрачни** или **провидни** јер кроз њих пролази светлост. С друге стране, дрво, метал, тканина су **непрозрачни** или **не провидни** јер кроз њих не може да прође светлост. Материјале који пропуштају светлост називамо **транспарентним** или **пропусним за светлост**.

Брзина светлости у вакууму (c) износи приближно 300000 km/s. Међуутим, брзина светлости није иста у свакој провидној средини. Сваки материјал кроз који светлост може да прође назива се **оптичка средина**. Брзина светлости у различитим оптичким срединама је различита. У свакој оптичкој средини, различитој од вакуума, брзина светлости има мању вредност од c . Што је брзина светлости мања у датој оптичкој средини, кажемо да је та средина **оптички гушћа**. Да би се описало ово понашање, у физици се користи физичка величина **индекс преламања** (n). Он се дефинише као количник брзине светлости у вакууму (c) и брзине светлости у некој оптичкој средини (v).

$$n = \frac{c}{v}$$

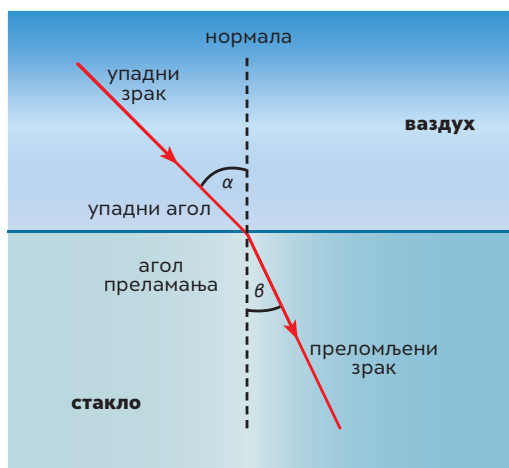
Индекс преламања је бездимензионална величина и показује колико пута је брзина светлости у некој оптичкој средини мања од брзине светлости у вакууму.

Оптичка средина	Индекс преламања (n)
Ваздух (0°C)	1,0003
Ваздух (40°C)	1,0002
Вода	1,33
Уље	1,46
Стакло	1,50
Дијамант	2,42

Табела 1. Индекс преламања светлости за неке супстанце.

Када танак светлосни сноп падне на границу између две оптичке средине, под упадним углом α мереним у односу на нормалу, део тог снопа се рефлектује назад у средину из које је дошао под истим углом, али део снопа прелази у другу средину, односно кажемо да се зрак **преломио**. Тај зрак је наставио да се креће под углом **преламања** β мереним у односу на нормалу (Слика 1). Ова промена правца простирања светлости назива се **преламање** или **рефракција светлости**.

Разлог за преламање светлости је то што се кроз различите оптичке средине светлост креће различитим брзинама, односно различите оптичке средине имају различит индекс преламања.



Слика 1. Преламање светлости на граници између две средине.

1. Ако светлост долази из оптички ређе средине (са мањим индексом преламања n_1) у оптички гушћу средину (са већим индексом преламања n_2), она се прелама **ка нормали**. У оваквом случају, можемо рећи да је $\alpha > \beta$ (Слика 2а).

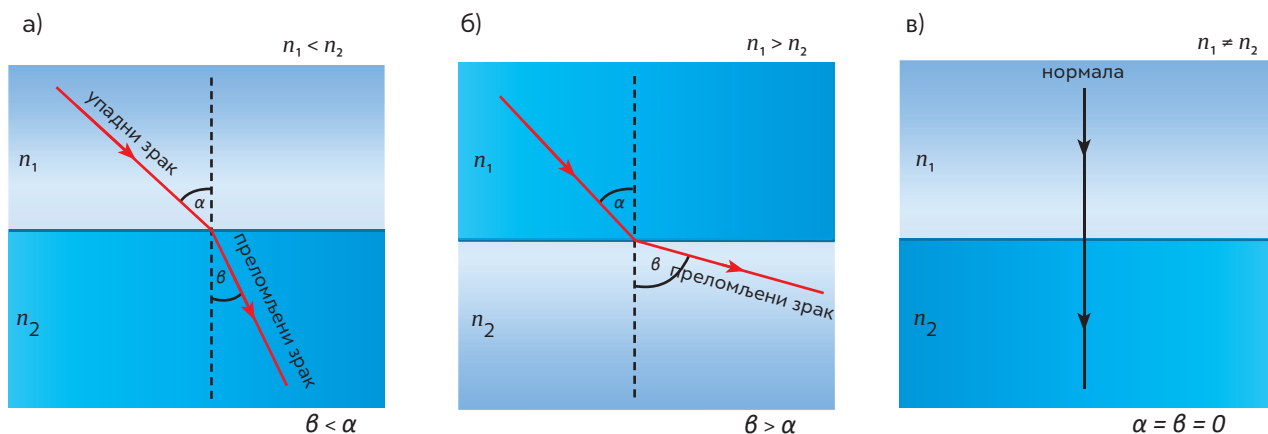
2. У обрнутом случају, ако светлост прелази из оптички гушће у оптички ређу средину, тада се светлост прелама **од нормале** $\alpha < \beta$ (Слика 2в).

3. Ако светлост пада нормално на границу две оптичке средине са различитим индексима преламања, тада светлост не мења правац простирања, без обзира да ли пада из оптички ређе у оптички гушћу средину или обрнуто (Слика 2в).

За преламање светлости важи: упадни зрак, нормала и преломљени зрак леже у истој равни.

Ове тврдње представљају Закон о преламању светлости.

Преламање светлости се лако може посматрати у свакодневном животу. Ако потопимо кашику у воду и погледамо одозго или са стране, она изгледа као да је „сломљена“ или савијена (Слика 3а). Када гледамо предмете под водом, наш мозак продужава преломљене зраке по правој линији и ствара погрешан утисак



Слика 2. а) Преламање светлости између две оптичке средине, при чему је прва оптичка средина оптички ређа од друге.

б) Преламање светлости између две оптичке средине, при чему је прва оптичка средина гушћа од друге. в) Прелазак светлости на граници између две оптичке средине када пада под упадним углом од нула степени у односу на нормалу.

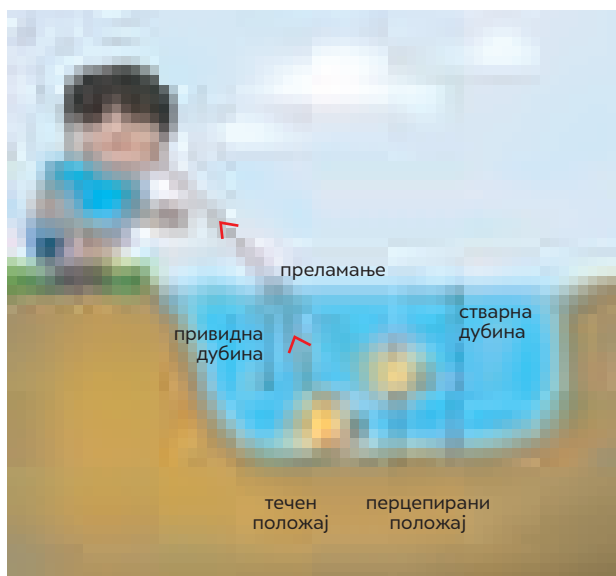
да се предмети налазе на мањој дубини од њиховог стварног положаја. Зато дно базена изгледа плиће, а предмети под водом изгледају на мањој дубини него што заиста јесу, као што је приказано на Слици 3б.

а)



Слика 3. а) Кашичица потопљена у посуду са водом. б) Ученик гледа рибу у продужетку зрака који долазе до његовог ока након преламања на граници вода-ваздух. Зато риба привидно изгледа као да је на мањој дубини.

б)



АКТИВНОСТИ

1. Преламање светлости код планпаралелне плоче

Транспарентна плоча са две равне паралелне стране представља планпаралелну плочу. Она може бити израђена од стакла или пластике. Светлосни зрак из ласера нека осветљава једну паралелну страну плоче. Нацртај праву по којој се креће упадни зрак и праву по којој наставља да се креће преломљени зрак у плочици. Нацртај нормалу на месту где светлост пада на плочицу и пажљиво разгледај како се мења правац зрака када прелази из ваздуха у стакло. Покушај да промениш упадни угао светлости на планпаралелну плочицу и поново нацртај праве по којима се светлост кретала пре уласка у плочицу. Да ли се повећањем упадног угла повећао угао под којим се светлост преломила? За различите упадне углове измери углове преламања и резултате представи табеларно. На крају, нека ласерска светлост пада под правим углом на површину плочице. Шта се дешава са преломљеним зраком? Да ли светлосни зрак и у овом случају мења правац кретања?

2. Изучавање преламања светлости помоћу интерактивне интернет странице.

Отвори симулацију „Савијање светлости“ (Bending Light) и изабери део „Увод“

(Intro) на интернет страници <https://phet.colorado.edu/en/simulations/bending-light>. На екрану ћеш видети ласерски зрак који можеш да помераш горе-доле, као и граничну површину између две провидне оптичке средине. Твој задатак је да истражиш шта се тачно дешава са светлошћу када пређе из једне у другу оптичку средину и зашто зрак мења правац ширења када мења средину. Почни тако што ћеш изабрати ваздух као горњу средину, а испод њега постави воду. Усмери ласерски зрак тако да пада под произвољним углом у односу на нормалу на граничну површину. Посматрај како се део зрака рефлектује, а део улази у другу оптичку средину, при чему мења правац простирања. Угломером измери упадни угао и угао преламања. Промени упадни угао зрака. Да ли се променио и угао преламања? Поступак понови бар за 5 упадних углова и резултате запиши у табелу. Шта примећујеш и какав закључак можеш да изведеш? Индексе преламања материјала које користиш можеш прочитати у десном углу симулације.

Сада замени оптичке средине. Нека горња средина буде стакло, а доња вода? Као и у првом делу активности, усмеравај упадне зраке под различитим упадним угловима и измери углове преламања. Резултате поново унеси у табелу. Какав закључак можеш да изведеш сада?

Покушај да поставиш различите комбинације оптичких супстанци и увек пре него што усмериш зрак, запиши своју претпоставку: да ли ће се преломљени зрак отклонити ка нормали или од ње? Затим провери да ли симулација показује оно што си очекивао.

Помоћу симулације, провери да ли ако зрак пада нормално на границу између две оптичке средине не долази до преламања светлости, али и да ли настаје преламање на граници између две оптичке средине ако су њихови индекси преламања исти.


РЕШЕНИ ПРИМЕР 1.

Израчунај брзину простирања светлости у дијаманту чији је индекс преламања 2,42.

Дато:	За брзину простирања светлости у дијаманту имамо:
$n = 2,42$	$n = \frac{c}{v} \Rightarrow v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,42} = 1,24 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$	
Тражи се:	
$v - ?$	


РЕШЕНИ ПРИМЕР 2.

На слици је приказано простирање светлости кроз три средине. Из ваздуха са индексом преламања n_1 , она прелази у две оптичке средине са индексима преламања n_2 и n_3 . Након проласка зрака кроз оптичку средину са индексом преламања n_3 , он поново излази у ваздух.

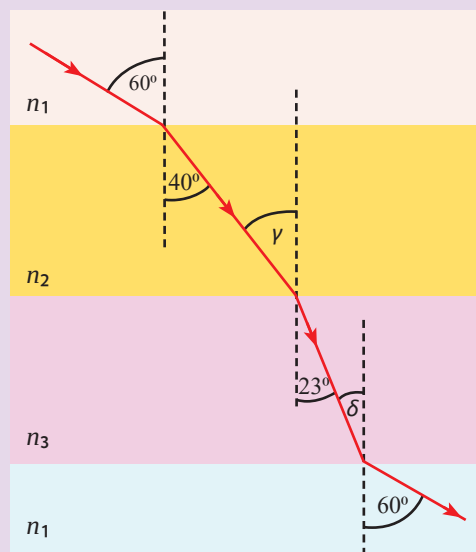
- Одреди која од оптичких средина има највећи, а која најмањи индекс преламања?
- Одреди у којој од оптичких средина је брзина светлости највећа, а у којој најмања?
- Одреди углове γ и δ ако знаш да су граничне површине паралелне.

Решење:

а) Са слике се може приметити да се при преласку из прве средине (ваздух) у другу средину зрак прелама ка нормали, па зато $n_2 > n_1$. Исто тако, при преласку зрака из друге у трећу, пошто $\gamma > 23^\circ$ следи $n_3 > n_2$. Коначно, закључујемо да: $n_1 < n_2 < n_3$.

б) Ако са v_1 , v_2 и v_3 означимо брзине светлости у ваздуху и у друге две средине, због начина на који се прелама зрак, можемо закључити $v_1 > v_2 > v_3$.

в) Будући да су граничне површине оптичких средина паралелне, следи да су нормале на местима где зрак пада паралелне. Из својства једнакости наизменичних углова при трансверзали паралелних правих, следи $\gamma = 40^\circ$ и $\delta = 23^\circ$.


ЗАНИМЉИВОСТИ

Услед преламања светлости кроз њену атмосферу, Сунце видимо неколико минута пре него што заиста изађе на хоризонту и неколико минута након његовог заласка иза хоризонта.

ЗА 5+

Преламање се математички исказује Законом Снелијуса и Декарта, који повезује индексе преламања средина на чијој се граници светлост прелама и одговарајуће углове. За мали упадни угао (до неколико степени), овај закон се може записати на следећи начин:

$$\frac{n_1}{n_2} \approx \frac{\beta}{\alpha},$$

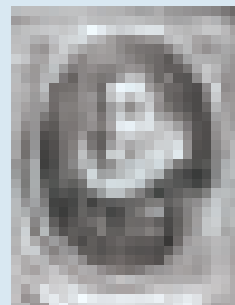
где је n_1 индекс преламања средине из које зрак упада на граничну површину, n_2 је индекс преламања средине у коју се зрак прелама, α је упадни угао, а β је угао преламања.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

Вилеброрд Снелиус (Willebrord Snellius 1580–1626)

Вилеброрд Снелијус је био холандски математичар, астроном и геодета по-знат по својој способности да примењује математичке методе при проучавању природних појава. Његов највећи допринос науци је формулисање везе између упадног угла и угла преламања светлости при преласку из једне у другу оптичку средину, што је данас познато као Снелијус-Декартов закон. Иако закон није био објављен за време његовог живота, његов рад је касније постао основа савремене оптике. Осим у оптици, Снелијус је дао важан допринос и у развоју тригонометрије,

уводећи метод „триангулације“ (одређивање положаја предмета, знајући углове у две тачке под којима се предмет посматра и знајући растојање између тих тачака), који се и данас користи у геодезији за мерење великих растојања и у мобилној телефонији. Овом методом, он је израчунао полупречник Земље са великом тачношћу.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта представља индекс преламања и зашто је то бездимензионална величина?
2. Како се прелама светлост када прелази из ваздуха у воду?
3. Како се прелама светлост када прелази из стакла у воду?
4. Колика је брзина простирања светлости у оптичкој средини која има двапут већи индекс преламања од индекса преламања воде.
5. Светлосни зрак пада под косим углом у односу на нормалу на стаклену плочицу са индексом преламања 1,50. Стаклена плочица је постављена на површину воде чији је индекс преламања 1,33 и зрак из стаклене плочице директно прелази у воду. Нацртај пут светлосног зрака и одреди да ли ће се при сваком преламању зрак отклонити од нормале или ка нормали на граничним површинама.

ЗАПАМТИ

- Индекс преламања n за оптичку средину је количник брзине светлости у вакууму и брзине светлости у датој средини.
- Преламање се јавља услед промене брзине светлости при преласку из једне у другу оптичку средину.
- Када светлост прелази из оптички ређе у оптички гушћу средину, она се прелама ка нормали.
- Када светлост прелази из оптички гушће у оптички ређу средину, она се прелама од нормале.
- Упадни зрак, нормала и преломљени зрак увек леже у истој равни.

4.8 ТОТАЛНА РЕФЛЕКСИЈА

ПОЈМОВИ

тотална рефлексција

гранични угао

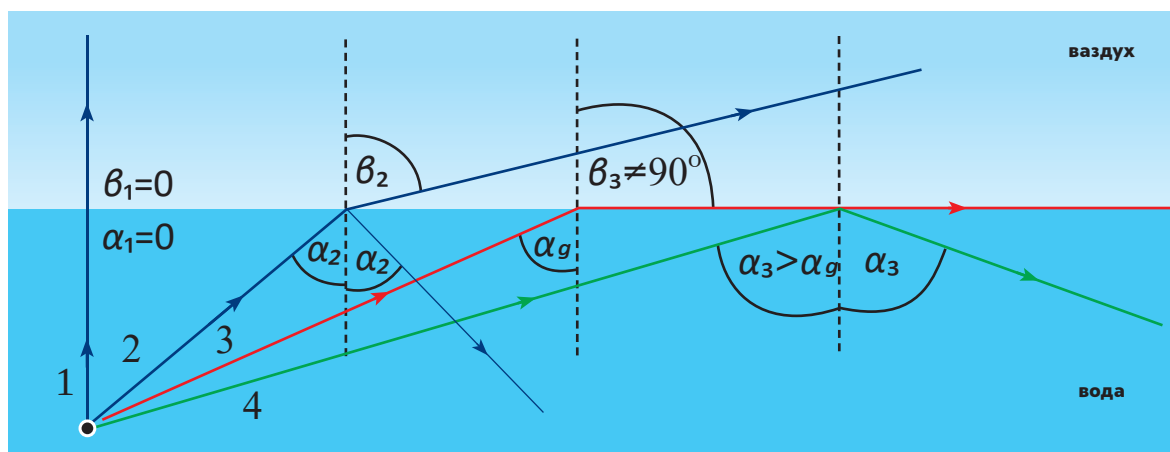
оптичко влакно

фатаморгана

Када светлост падне на границу између две оптичке средине које имају различит индекс преламања, она може делимично да се одбије, а делимично да пређе у другу средину, мењајући правац ширења. Овај прелаз, као што сте већ научили, назива се преламање или рефракција светлости. Но, у одређеним условима, када светлост долази из оптички гушће средине (средина са већим индексом преламања) и прелама се у оптички ређу средину (средина са мањим индексом преламања, у поређењу са оптички гушћом средином), светлост може да се понаша другачије: уместо да пређе у оптички ређу средину, она се потпуно враћа назад у средину из које је дошла, односно на граници ће се догодити рефлексција светлости. Овај веома интересантан и изузетно важан феномен назива се **тотална рефлексција**.

Замислите да се у води (која је оптички гушћа средина од ваздуха) налази извор светлости. Ако један светлосни зрак стигне до границе вода–ваздух под малим упадним углом, део зрака ће прећи у ваздух, а део ће се одбити назад. Колико више по-већавамо упадни угао, толико се више повећава угао преламања. У једном тренутку преломљени зрак постаје толико нагнут да „клизи“ по самој граници између две оптичке средине, односно преломни угао износи 90° . Тај посебан упадни угао при којем се светлосни зрак прелама под правим углом у односу на нормалу назива се **гранични угао** за тоталну рефлексiju. Уобичајено, гранични угао се обележава са α_g .

Ако упадни угао повећамо још мало изнад ове граничне вредности, светлост се потпуно одбија назад у средину из које је дошла, притом, без преласка у оптички ређу средину. Ова појава се назива **тотална рефлексција**. Она може да се појави само ако

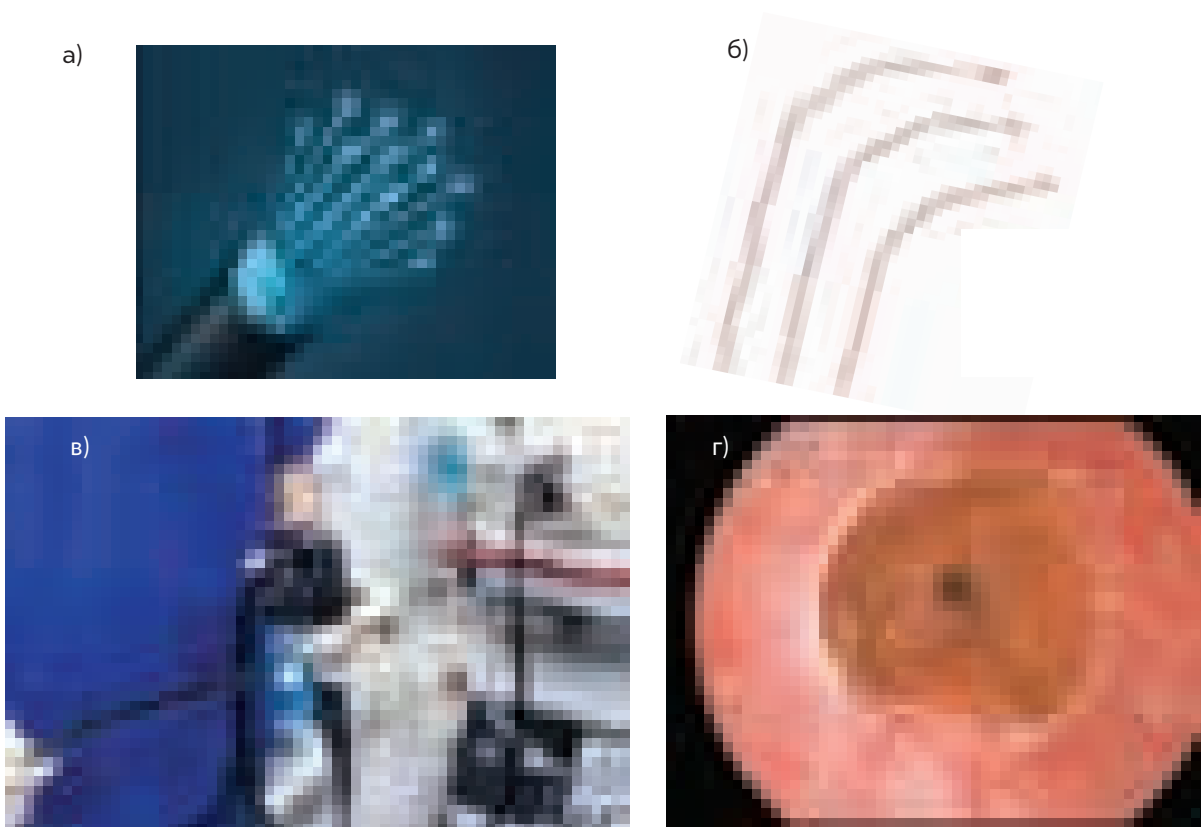


Слика 1. Прелазак светлосног зрака из воде у ваздух. Зрак 1 упада нормално на граничну површину и прелази у ваздух без преламања. Зрак 2 на граничној површини делимично се одбија назад ка води, а делимично се прелама у ваздух. Зрак 3, који пада на граничну површину под граничним углом, клизи по граничној површини између воде и ваздуха, а зрак 4, који на граничну површину пада под већим углом од граничног угла, тотално или потпуно се рефлектује у води.

светлост прелази из оптички гушће у оптички ређу средину, али и само ако је упадни угао **већи од граничног угла**. На Слици 1 су приказани зраци који под различитим угловима упадају на граничну површину између воде и ваздуха.

Тотална рефлексија није само лепа оптичка појава, већ она има огромну примену у савременом свету. Најпознатији пример су **оптичка влакна**, кроз која се данас преноси највећи део интернет саобраћаја у свету. Језгро влакна има већи индекс преламања од његовог спољашњег омотача, па се затоа сваки зрак који стигне до границе под довољно великим углом рефлектује назад у језгро влакна. На овај начин светлост може да путује стотинама километара, чак и кроз влакна која су извијена, а да не „изађе“ из њих.

Оптичка влакна се користе у медицини за ендоскопију (процедура при којој се гледају неки унутрашњи органи), јер омогућавају светлости да продре до тешко доступних делова тела, а истовремено да се врати назад као слика коју лекар може да посматра. У техници, оптичка влакна су основа за брз интернет, телевизију и за телефонске везе, јер се сигнали који се преносе крећу истом брзином као и светлост. (Слика 2).



Слика 2. а) Оптички кабл направљен од више оптичких влакана б) Графички приказ тоталне рефлексије светлости у оптичким влакнима в) Медицински ендоскоп са оптичким влакном за гледање унутрашњости дигестивног тракта. г) Слика једњака направљена ендоскопом са оптичким влакном.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

На слици испод приказан је прелаз светлосног зрака кроз три оптичке средине са индексима преламања n_1 , n_2 и n_3 . Светлосни зрак на граничној површини између друге и треће средине путује по граничној површини.

а) Одреди која од оптичких средина има највећи, а која најмањи индекс преламања?

б) Одреди у којој од оптичких средина је брзина светлости највећа, а у којој најмања?

в) Одреди угао тоталне рефлексije α_g .

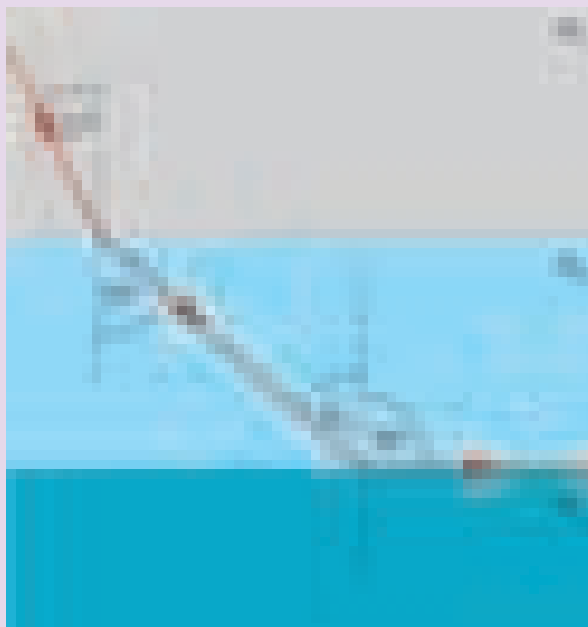
Решење: а) Са слике се може приметити

да се при преласку из прве у другу оптичку

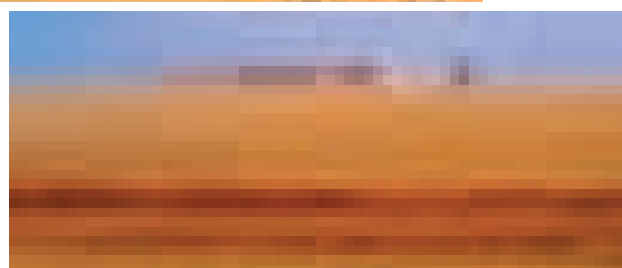
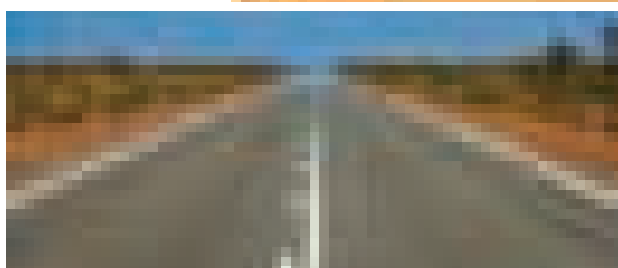
средину зрак прелама од нормале, па затоа можемо закључити да је $n_1 > n_2$. Зрак клизи по граничној површини између друге и треће оптичке средине, па пошто је $n_2 > n_3$, закључујемо да је $n_2 > n_3$. Коначно, можемо записати: $n_1 > n_2 > n_3$.

б) Ако са v_1 , v_2 и v_3 означимо брзину светлости у ваздуху, у првој и у другој оптичкој средини, због начина на који се зрак прелама, можемо закључити $v_1 < v_2 < v_3$.

в) Пошто су површине оптичких средина паралелне, следи да су нормале на местима где зрак пада паралелне. Од својства једнакости наизменичних углова при трансверзали паралелних правих, закључујемо да гранични угао за тоталну рефлексiju износи $\alpha_g = 55^\circ$.



Тотална рефлексija је повезана и са још једном појавом коју можемо срести у пустињама и на загрејаним асфалтним подлогама, а то је **фатаморгана**. Ваздух изнад загрејане површине је на вишој температури у однос на слојеве изнад њега који имају нижу температуру. Индекс преламања зависи од температуре: што је ваздух загрејанији, то има мањи индекс преламања. Светлост која долази од далеких предмета прелама се на сваком слоју ваздуха под углом који је већи од упадног, све док не падне на најтоплији слој ваздуха под углом већим од угла тоталне рефлексije, при чему ће се она одбити од овог слоја, као што је приказано на Слици 3а. Ову светлост посматрач види и притом, као код равног огледала, предмет из којег потиче ова светлост види у продужетку одбијених светлосних зрака. Слика која се најчешће види код фатаморгане је привид да на подлози има воде или да далеки предмети „лебде“ у ваздуху, као што је приказано на Слици 3 б и в. Ова оптичка илузија је резултат управо тоталне рефлексije.



Слика 3. а) Графички приказ формирања lika предмета (палма) помоћу фатаморгане. Лик палме видимо у продужетку зрака који су се тотално рефлексовали од топлог ваздуха изнад површине Земље, који има мањи индекс преламања од слојева изнад њега. б) Фатаморгане на путу. Небо видимо као да је на путу. в) Фатаморгане у пустињи.



ЗАНИМЉИВОСТИ

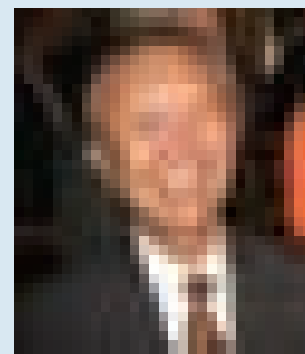
Једно оптичко влакно има пречник као и људска влас косе, али може преносити информације од стотине гигабита у секунди.



ПОЗНАТИ НАУЧНИК

ПОЗНАТИ НАУЧНИК/физичар Чарлс К. Као (Charles K. Kao, 1933–2018)

Као је био кинеско-британски физичар, човек који је први препознао праву моћ стаклених влакана као средства за пренос светлости на велике удаљености. Године 1966. он је направио револуционарно откриће: чисто оптичко стакло може преносити светлост са веома малим губицима, што је отворило пут ка развоју оптичких каблова. До тада се мислило да се светлосна енергија губи при кретању зрака у стаклу, али Као је показао да је проблем у нечистоћи материјала, а не у принципу преноса. Он је израчунао да ако се стакло прочисти до довољно високог нивоа, светлосни сигнали ће моћи да путују километрима без значајног слабљења. Ово је довело до стварања првих оптичких влакана, заснованих на принципу тоталне рефлексije. За свој пионирски рад, Као је добио Нобелову награду за физику 2009. године.





АКТИВНОСТИ

1. Одређивање граничног угла материјала

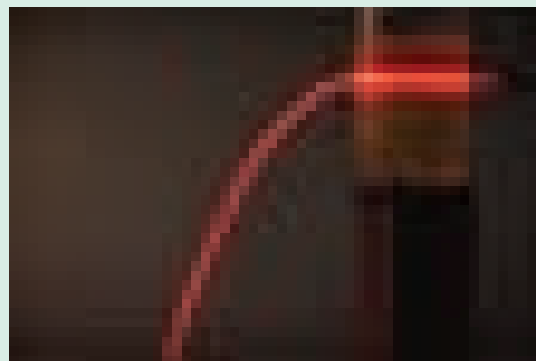
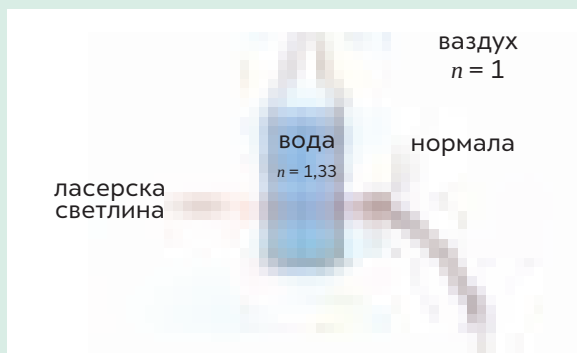
Узми стаклену планпаралелну плочицу као што је приказана на Слици 4. Усмери ласерски зрак тако да пада са доње стране плочице. Светлосни зрак пролази кроз плочицу и пада на равну граничну површину стакло – ваздух. Почни са малим упадним углом на ову површину и полако га повећавај. Посматрај како прво део светлости излази из стаклене плочице, а део се одбија назад. Настави да повећаваш угао док не видиш тренутак када се преломљени зрак клизи по површини. То је гранични угао. Измери гранични угао за стакло од којег је направљена плочица. Шта ће се десити ако се упадни угао још мало повећа?



Слика 4. Одређивање угла тоталне рефлексије помоћу планпаралелне плочице.

2. Направи своје светлосно влакно

На пластичној флаши, близу њеног дна, направи отвор. Напуни флашу водом, при чему ћеш отвор држати затвореним. Када ослободиш отвор, вода ће истицати из њега. Ка отвору са супротне стране флаше усмери ласерски сноп, као што је приказано на Слици 5. Шта примећујеш? Да ли се светлост креће заједно са млазом воде који истиче из флаше? Да ли можеш да приметиш места на којима настаје тотална рефлексија светлости у млазу?



Слика 5. Млаз воде представља оптичко влакно кроз које се простире светлост.

3. Изучавање тоталне рефлексије светлости помоћу интерактивне интернет странице.

Отвори симулацију „Савијање светлости“ (Bending Light) и изабери део „Увод“ (Intro) на интернет страници <https://phet.colorado.edu/en/simulations/bending-light>.

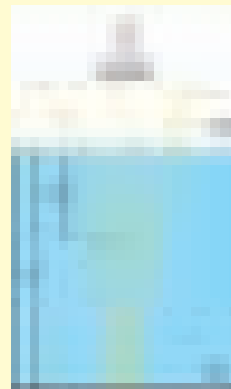
На екрану изабери две оптичке средине, тако да горња оптичка средина има већи индекс преламања од доње. На пример, постави стакло преко ваздуха. Усмери ласерски зрак тако да пада под малим углом у односу на нормалу на граничну површину. Приметићеш да се део светлости прелама у ваздуху, а део одбија назад у стакло. Сада почни полако да повећаваш упадни угао. Посматрај како се преломљени зрак приближава граници између две оптичке средине. Када се преломљени зрак креће по граници, угломером измери упадни угао. Шта представља овај угао? Шта ће се десити са светлосним зраком ако поново повећаш упадни угао? Да ли се светлосни зрак прелама у води или се рефлектује од граничне површине? Експеримент понови постављањем стакла преко воде. Одреди гранични угао за тоталну рефлексију у овом случају. Испитај да ли је могуће да дође до тоталне рефлексије зрака ако он пада из средине са мањим индексом преламања у средину са већим индексом преламања.

ЗА 5+

Привидна положба предмета који су под водом добија се када пре-ломљени зраци који долазе од предмета падну у наше око. У том случају предмет видимо у продужетку ових зрака у води. На слици је дата привидна положба тачкастог извора светлости постављеног у посуду са водом. Преломљени зраци падају у око посматрача, али ради јасноће слике овде су нацртани да се преламају под великим угловима. Привидна дубина предмета може се израчунати једначином:

$$d_1 = d \cdot \frac{n_1}{n_2},$$

где су n_1 и n_2 индекси преламања ваздуха и воде, респективно, а d је дубина на којој се налази тачкасти извор.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Ако је индекс преламања стакла 1,5, а ваздуха 1,0, објасни у ком правцу треба да се креће светлосни зрак да би на њиховој граничној површини дошло до тоталне рефлексije зрака.
2. У једном оптичком експерименту светлост прелази из стакла, чији је индекс преламања 1,50, у ваздух. Објасни шта ће се десити са зраком када се упадни угао постепено повећава.
3. Фатаморгана понекад даје утисак да на хоризонту има воде. Објасни ову појаву помоћу промене у густини ваздуха.
4. Стаклено оптичко влакно има језгро са индексом преламања 1,50 и омотач са индексом 1,45. Објасни како ова разлика омогућава сигуран пренос светлости кроз влакно.
5. Објасни зашто није могућа тотална рефлексija када зрак прелази из оптички ређе у оптички гушћу средину.

ЗАПАМТИ

- Тотална рефлексija се појављује само када светлост прелази из оптички гушће у оптички ређу средину.
- Гранични угао за тоталну рефлексiju је највећи упадни угао за који преломљени зрак излази у оптички ређу средину под углом од 90 степени.
- Ако је упадни угао већи од граничног, светлост не прелази у другу средину, већ се одбија потпуно назад.
- Тотална рефлексija је основна појава на којој се заснива рад оптичких влакана.
- Фатаморгана је природан оптички ефекат који настаје услед постепеног преламања и унутрашњег одбијања светлости у слојевима ваздуха различите густине.

4.9. ОПТИЧКА СОЧИВА

ПОЈМОВИ

сабирно сочиво

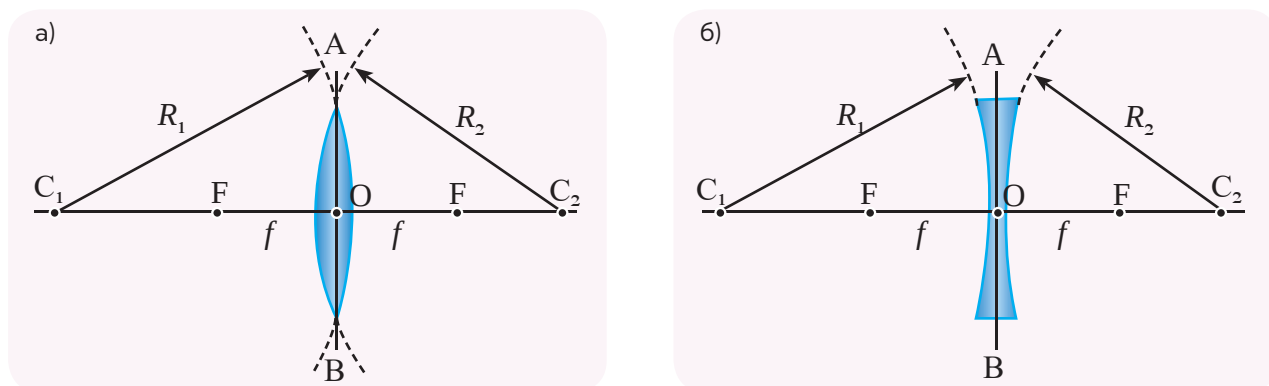
расипно сочиво

јачина сочива

диоптер

У свакодневном животу често срећемо провидне предмете који мењају правац ширења светлости. Када погледамо кроз њих, предмети могу изгледати већи, мањи или јаснији. Стакла на наочарима, лупе, као и сочива у фотоапаратима и микроскопима функционишу захваљујући њиховим посебним својствима – способности да преламају светлост која пролази кроз њих.

Оптичко сочиво представља провидно тело, најчешће израђено од стакла или пластике, ограничено са две сферне површине или са једном сферном и једном равном површином (Слика 1). Управо због таквог облика, сочиво припада групи оптичких уређаја који мењају правац простирања светлосних зрака. Као и код сферних огледала, тако и код сочива постоје неколико карактеристичних елемената: **главна оптичка оса**, **оптички центар** и **фокус**.



Слика 1. Елементи сочива а) Сабирно сочиво б) Расипно сочиво

Главна оптичка оса је замишљена права која спаја центре кривине две сферне површине које ограничавају сочиво. На Слици 1. то је права која пролази кроз тачке C_1 и C_2 . Раван која сече сочиво нормално на оптичку осу пролази кроз тачке A и B , и назива се **главна оптичка равна**. У пресеку главне равни и оптичке осе налази се **оптички центар сочива** и означавамо га са O . Иако се светлост прелама на улазној и на излазној површини сочива, ми ћемо размотрити најједноставнији случај, тако да ћемо сматрати да се преламање дешава само једном. Њих називамо **танким сочивима**.

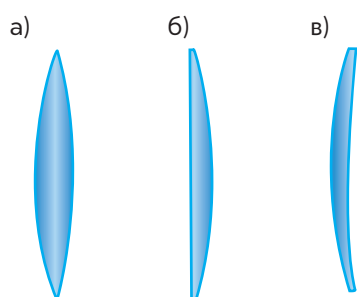
Сабирна и расипна сочива

Постоје два главна типа сочива: **сабирна (конвексна)** и **расипна (конкавна)**. Разлика између њих произилази из њиховог облика:

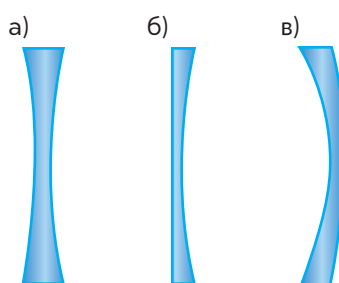
Сабирна сочива, позната и као испупчена сочива, дебља су у средини него на

крајевима. Примери сабирних сочива приказани су на Слици 2. Сабирна сочива имају различит облик, па одатле имамо: биконвексна или двојако испупчена сочива – Слика 2а, план-конвексна или равно-испупчена сочива – Слика 2б и конвексно-конкавна или испупчено-удубљена сочива – Слика 2в. Најважнија карактеристика сабирних сочива је то што светлосни зраци који падају паралелно са оптичком осом након преламања кроз сочиво пролазе кроз једну тачку која се назива **фокус сабирног сочива**.

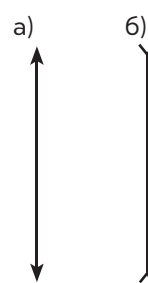
Расипна сочива, позната и као удубљена сочива, тања су у средини, а дебља на крајевима. Примери расипних сочива приказани су на Слици 3. Расипна сочива, као и сабирна, могу бити различитог облика, па одатле имамо: биконкавна или двојако удубљена сочива – Слика 3а, план-конкавна или равно-удубљена сочива – Слика 3б и конкавно-конвексна или удубљено-испупчена сочива – Слика 3в. Карактеристика расипних сочива је то што она расипају преломљене зраке који су пали паралелно са главном оптичком осом. Продужеци преломљених зрака ка страни сочива на коју је пао паралелни сноп секу се у једној тачки названој **фокус расипног сочива**.



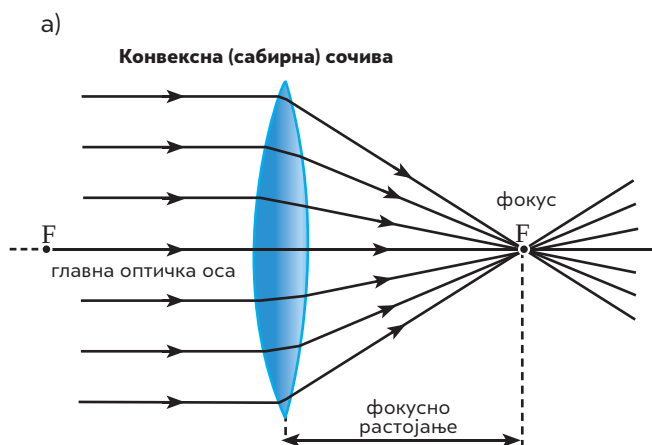
Слика 2. Различити облици сабирних сочива
а) двојноструко-испупчено сочиво,
б) равно-испупчено сочиво
в) испупчено-удубљено сочиво.



Слика 3. Различити облици расипних сочива
а) двојноструко-удубљено сочиво,
б) равно-удубљено сочиво,
в) удубљено-испупчено сочиво



Слика 4. Шематски приказ
а) сабирног сочива
б) расипног сочива.



Слика 5. а) Сабирно сочиво. Након преламања кроз сочиво снопа зрака паралелних главној оптичкој оси, они пролазе кроз његов фокус који је са друге стране сочива. б) Расипно сочиво.

Након преламања кроз сочиво снопа паралелних зрака са главном оптичком осом, они се расипају у различитим правцима. Продужеци ових зрака секу се у фокусу расипног сочива, који је са исте стране са које падају зраци.

Фокусно растојање и оптичка јачина сочива

Фокус сочива је један од елемената сочива који се налази на главној оптичкој оси и обележава се са F . Фокус код сабирног сочива је **реалан**, а фокус код расипног сочива је **имагинаран**. Растојање између фокуса и оптичког центра сочива назива се **фокусно растојање** и означава се са f . Код сабирних сочива фокусно растојање се записује као позитивна величина, а код расипних сочива ово растојање се узима као негативна величина. Што је фокусно растојање мање, то сочиво више мења правац преломљених светлосних зрака. У физици, а посебно у медицини, често се практикује да се не користи фокусно растојање, већ његова реципрочна вредност, која се назива **јачина сочива**. Јачина се означава са J и израчунава се формулом:

$$J = \frac{1}{f},$$

где је f фокусно растојање изражено у m . Јачина сочива се изражава у m^{-1} или у диоптријама (D). Из формуле изнад, произлази да је $1 D = 1 m^{-1}$. Сабирна сочива имају позитивну вредност за јачину сочива, а расипна сочива негативну.



РЕШЕНИ ПРИМЕР

Одреди фокусно-растојање сочива које има оптичку јачину $-4D$.

Дато:	За фокусно растојање имамо:
$J = -4D$	$J = \frac{1}{f} \Rightarrow J \cdot f = 1 \Rightarrow f = \frac{1}{J} = \frac{1}{-4D} = -0,25 m.$
Тражи се:	Негативна вредност фокусног растојања указује на то да је реч о расипном сочиву..
$f - ?$	

Карактеристични зраци код сочива

За лакше конструисање lika, и код сочива користимо **карактеристичне зраке**. Њих можемо лако пратити и предвидети њихов пут, без обзира где се налази предмет (Слика 6).

Зрак који пада паралелно са главном оптичком осом

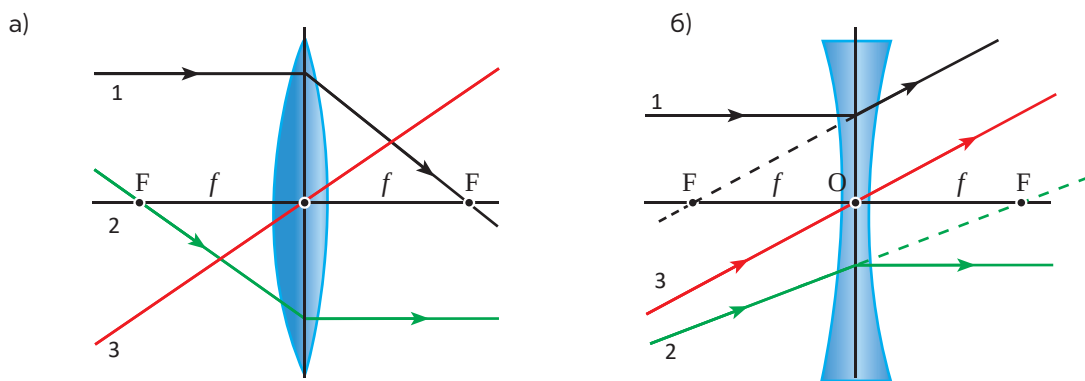
- Код сабирног сочива, након преламања, пролази кроз фокус сочива (Слика 6а, зрак 1).
- Код расипног сочива, након преламања се расипа као да долази из имагинарног фокуса сочива (Слика 6б, зрак 1).

Зрак који пролази кроз фокус

- Код сабирног сочива, након преламања је паралелан са главном оптичком осом (Слика 6а, зрак 2).
- Код расипног сочива, зрак који је усмерен ка фокусу након преламања кроз сочиво постаје паралелан са главном оптичком осом (Слика 6б, зрак 2).

Зрак који пролази кроз оптички центар

- Након преламања, и код сабирног и код расипног сочива, не мења правац простирања (Слика 6а и Слика 6б, зрак 3).



Слика 6. а) Карактеристични зраци код сабирног сочива
б) Карактеристични зраци код расипног сочива.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Прва сочива су користили древни Египћани пре више од 4000 година – као примитивне лупе.



АКТИВНОСТИ

1. Истраживање карактеристичних зрака код сочива

Постави сабирно и расипно сочиво на бели лист папира на сто, тако да можеш слободно да усмеравањ танак ласерски зрак ка њима (У школи би требало да има и ласерске изворе светлости који истовремено емитују три или пет паралелних ласерских снопова – у том случају, можеш да користиш те изворе за израду активности). На папиру нацртај главну оптичку осу сочива. Почни са сабирним сочивом: усмери ласерски зрак паралелно са оптичком осом и посматрај како се прелама након проласка кроз сочиво. Пресек преломљеног зрака са оптичком осом означи на листу папира. Шта представља ова тачка? Поступак понови тако да ласерска светлост пада са супротне стране сочива. Да ли су зраци поново пресекли оптичку осу? Да ли је и ова тачка фокус сочива? Колико је фокусно растојање сочива? Затим, усмери ласерски зрак да пролази кроз теме сочива. На листу папира нацртај зрак након проласка кроз сочиво. Да ли се овај зрак преломио? На крају, нека ласерска светлост пролази кроз фокус сочива. Какав је правац преломљеног зрака?

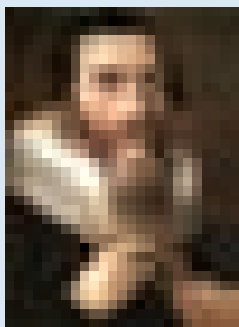
Исту активност понови са расипним сочивом. Које разлике примећујеш у односу на то када си активност радио са сабирним сочивом? Одреди фокус и фокусно растојање расипног сочива? Да ли и ово сочиво има два фокуса?

2. Изучавање карактеристичних зрака код сочива помоћу интерактивне интернет странице

Отвори симулацију „Геометријска оптика“ (Geometric Optics) на интернет страници: https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html и изабери да радиш са сочивом, а као предмет изабери извор светлости. Твој задатак је да пажљиво пратиш понашање три карактеристична зрака када пролазе кроз сочиво, без покушаја да одредиш или анализираш лик који се формира. Прво постави сабирно сочиво. Укључи зраке како би могао јасно да пратиш њихово ширење. Како се прелама зрак који пролази кроз оптички центар сочива?

Након што добро разгледаш карактеристичне зраке код сабирног сочива, замени сочиво расипним сочивом. Како се преламају карактеристични зраци код овог сочива? Промени фокусно растојање сабирног и расипног сочива. Да ли се променило ширење карактеристичних зрака?

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Јохан Кеплер (Johannes Kepler, 1571–1630)

Кеплер није био само астроном који је формулисао законе кретања планета; он је један од утемељивача модерне оптике. У свом делу Диоптрија „Dioptrice“ из 1611. године, Кеплер је објаснио улогу сочива у стварању lika, увео појам фокуса и први научно описао карактеристичне зраке код сочива. Он је први правилно објаснио функционисање људског ока као оптичког инструмента са сабирним сочивом и поставио теоријску основу на којој ће се касније развити телескопи и микроскопи.

ЗА 5+

Фокусно растојање танког сочива може се израчунати ако знамо: индекс преламања материјала од којег је направљено сочиво n , индекс преламања средине у којој је постављено сочиво n_0 , радијусе закривљености површине на коју пада зрак R_1 и радијус површине са које светлост напушта сочиво R_2 према следећој формули:

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n_0} - 1 \right) \cdot \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right).$$

Ако је фокусно растојање позитивна величина, сочиво је сабирно, ако је фокусно растојање негативна величина, сочиво је расипно. Ова формула показује да фокусно растојање не зависи само од облика сочива, већ и од тога у каквој се средини налази. Зато, сочиво које је сабирно у ваздуху, може постати расипно када се потопи у воду, што представља занимљив и важан ефекат при дизајнирању подводних оптичких система.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта је фокус сабирног сочива?
2. Ако је фокусно растојање сочива 0,05 m, одреди његову оптичку јачину.
3. Сочиво има оптичку јачину од -10 D . Колика је његово фокусно растојање и о каквом је сочиву реч?
4. Количник фокусних растојања два сабирна сочива износи 1:2. Одреди количник оптичких јачина ова два сочива.
5. Нацртај тачкасти извор постављен испред сочива (да не буде на главној оптичкој оси) и од њега нацртај три карактеристична зрака? Где се секу ови зраци ако је сочиво:
 - а) Сабирно
 - б) Расипно.



ЗАПАМТИ

- Сочива су провидна тела која мењају правац простирања светлосних зрака.
- Сабирна сочива сакупљају паралелне зраке у једну тачку која се зове фокус сабирног сочива.
- Расипна сочива расипају паралелне зраке тако да се њихови продужеци секу у фокусу расипног сочива.
- Фокусно растојање f је растојање од оптичког центра до фокуса сочива.
- Оптичка јачина сочива се одређује формулом $J = 1/f$.
- Сабирна сочива имају позитивну, а расипна негативну оптичку јачину.

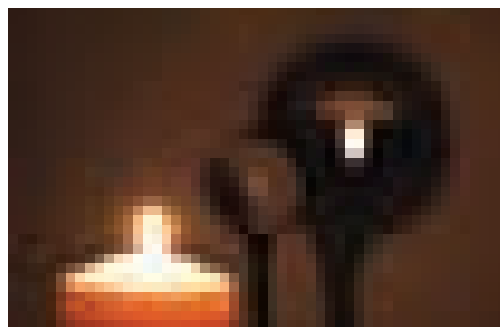
4.10. КОНСТРУКЦИЈА ЛИКОВА КОД СОЧИВА



Када светлост пролази кроз сочиво, мења се њен правац простирања јер се зраци преламају на улазној и излазној површини сочива. То промена правца омогућава сочивима да стварају ликове предмета. Ликови могу бити реални или имагинарни. Реални ликови се могу пројектовати на екран, а имагинарне можемо видети само ако гледамо кроз сочиво. Као и код огледала, довољно је да повучемо само два карактеристична зрака како бисмо одредили положај и величину lika. Ради лакшег разумевања, размотрићемо најједноставнији случај - када је предмет у облику стрелице постављене нормално на главну оптичку осу. И у овом случају одредићемо лик само на најудаљенијој тачки предмета од главне оптичке осе. Све преостале тачке налазе се на нормали повученој из ове тачке до главне оптичке осе.

Сабирно сочиво

Када се предмет налази на растојању већем од фокусног растојања, сабирно сочиво формира реалан лик. Зраци који излазе из предмета, након преламања кроз сочиво, секу се у одређеној тачки са друге стране сочива. Ако на тој страни поставимо екран, добићемо светао лик. Овај лик је увек обрнут у односу на предмет. На Слици 1 је приказано формирање реалног lika свеће помоћу сабирног сочива.



Слика 1. Формирање реалног lika помоћу сабирног сочива

Лик предмета који је постављен на растојање веће од фокусног растојања сабирног сочива f , је реалан, може бити умањен у односу на величину предмета, исте величине као и предмет, или увећан, у зависности од тога на ком се растојању од сочива налази предмет.

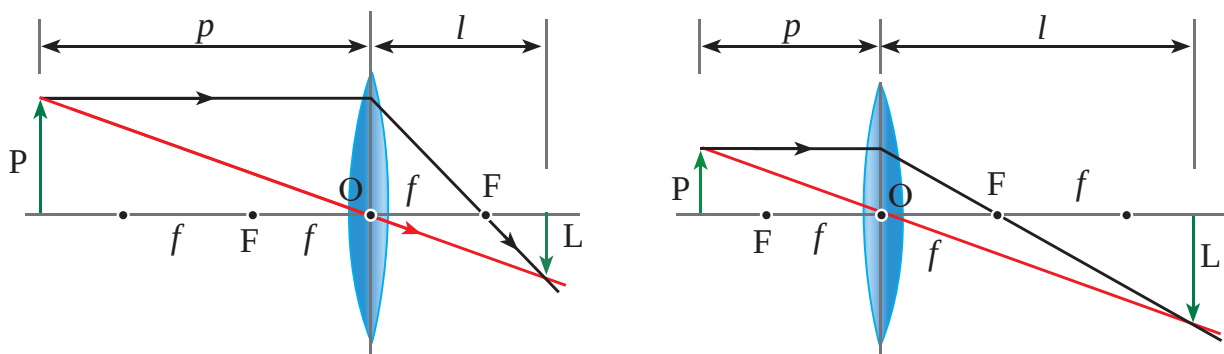
Ако је предмет на растојању већем од $2f$, односно, $p > 2 \cdot f$ лик је умањен и обрнут.

Ако је предмет на растојању од сочива између f и $2 \cdot f$, односно $f < p < 2 \cdot f$, лик који се ствара сочивом је већи од предмета и обрнут.

Ако се предмет постави на растојање једнако $2 \cdot f$, лик ће бити једнаке величине, обрнут и формираће се на растојању $2 \cdot f$ од сочива.

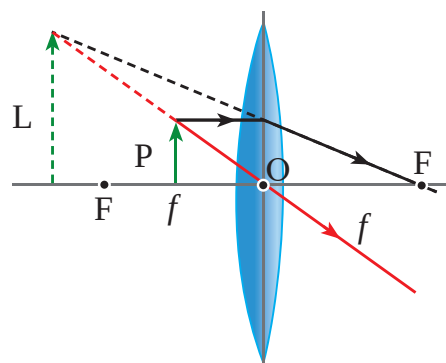
На Слици 2 је приказана конструкција ликова у прва два случаја. Ради јасноће слике, на свакој слици су искоришћена само по два карактеристична зрака. Ликови предмета се могу добити на екрану (на пример, бели лист папира). Ако је предмет постављен у фокусу сочива, тада се преломљени зраци не секу. У таквим случајевима, кажемо да се лик ствара бесконачно далеко од сочива.

Ако је предмет испред сочива постављен на растојање које је мање од фокусног растојања сочива (Слика 3), тада се зраци након преламања кроз сочиво не секу у једној тачки, већ се разилазе, па се у том случају не ствара реалан лик.



Слика 2. Конструкција ликова код сабирног сочива а) Предмет је на већем растојању од двоструког фокусног растојања б) предмет је на растојању већем од фокусног растојања, али мањем од двоструког фокусног растојања. На свакој од слика, са p је означено растојање од предмета до сочива, са l је означено растојање од сочива до лика, а са f је означено фокусно растојање. Висина предмета је означена са P , а висина лика са L . Ове ознаке ће бити коришћене и на следећим сликама.

Ако зраке продужимо уназад, тада се они секу у тачки која је на истој страни као и предмет. У таквом случају, кажемо да сабирно сочиво даје имагинаран лик. Овај лик се може видети само гледањем кроз сочиво и не може се пројектовати на екран. Имагинарни лик је усправан и увећан у односу на предмет. Добијање имагинарног лика од предмета са сабирним сочивом искоришћено је код оптичког помагала **лупа**. Лупа је најједноставнији пример за практичну употребу сочива.



Слика 3. Конструкција имагинарног лика предмета са сабирним сочивом. Предмет је постављен на растојање које је мање од фокусног растојања сочива

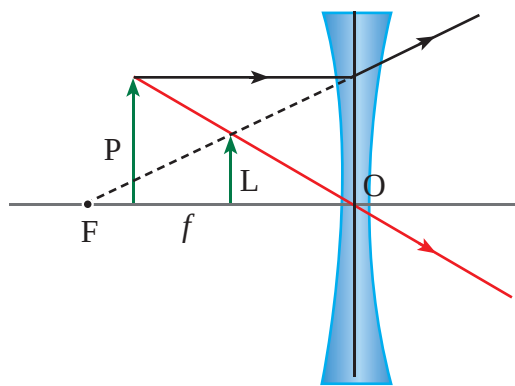


Слика 4. Лупа.

То је сабирно сочиво које се користи тако што се предмет поставља на растојање мање од његовог фокусног растојања. Зраци који излазе из предмета се разилазе након проласка кроз сочиво, али се продужеци секу са стране предмета формирајући увећан усправан имагинарни лик који се може видети. На овај начин лупа заправо повећава угао под којим гледамо предмет, што нам омогућава да посматрамо предмет са више детаља.

Расипно сочиво

Расипно сочиво, за разлику од сабирног, увек ствара имагинарни, умањени и усправни лик, без обзира на положај предмета. Зраци који падају паралелно са оптичком осом се разилазе, а њихови продужци се секу у имагинарном фокусу сочива. Формирање лика помоћу расипног сочива приказано је на Слици 4. Лик се формира у пресеку карактеристичног зрака који пролази кроз оптички центар сочива и продужетка расипаног зрака након преламања кроз сочиво.



Слика 5. Конструкција лика код расипног сочива.



АКТИВНОСТИ

1. Конструисање реалног лика сабирним сочивом

Постави сабирно сочиво на држач и узак сноп светлости. На пример, мала свећа на истој висини са сочивом. Нека наставник запали свећу и пазите да јој се не приближавате превише. Постави бели лист папира који ће ти служити као екран са друге стране сочива. Померај екран док не добијеш јасан лик свеће. Измери растојање на којем се налази предмет од сочива, као и растојање од сочива до лика. Поступак понови неколико пута за различита растојања свеће од сочива. Постави свећу ближе до сочива од фокусног растојања. Да ли можеш да добијеш лик свеће на екрану? Погледај кроз сочиво са стране на којој се налази екран. Да ли можеш да приметиш увећан лик свеће? Какав је овај лик који ствара сочиво?

2. Истраживање лупе

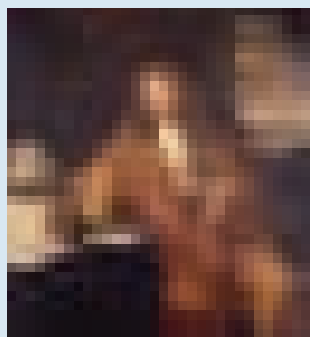
Узми лупу (сабирно сочиво) и лист са ситно штампаним текстом, какав је текст на декларацијама многих производа које купујеш у продавници. Приближавај и удаљавај лупу од листа са штампаним текстом. Посматрај лик слова: када постају највећа и најјаснија? Покушај да одредиш фокусно растојање лупе. То је растојање између текста и лупе када више не можеш да видиш слова кроз њу.

3. Изучавање сочива помоћу интерактивне интернет странице

Отвори симулацију „Геометријска оптика“ (Geometric Optics) на интернет страници: https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics-basics/latest/geometric-optics-basics_all.html и изабери да радиш са сочивима, а као предмет изабери свећу или стрелицу. Постави испред ње сабирно сочиво. Твој задатак је да проучиш како се ствара лик када се предмет налази на различитим растојањима од сочива и како се та запажања повезују са математичким формулама за сочива. Започни тако што ћеш поставити предмет на растојање веће од двоструке вредности фокусног растојања. Посматрај где се налази лик — симулација ће приказати место, величину и његову оријентацију. Затим полако померај свећу ка сочиву, прво до растојања једнаког двоструком фокусном растојању, а затим постави предмет на растојање мање од двоструког фокусног растојања. Шта се дешава са ликом при померању предмета? На крају, постави предмет између сочива и фокуса и посматрај како се променио лик који је створило сочиво. Какав је ово лик?

Понови истраживање, али сада са расипним сочивом. Постави предмет на различита растојања од сочива. Какав је лик који се добија? Можеш ли да добијеш реалан лик? Да ли можеш да добијеш умањен лик предмета?

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

**Антони ван Левенхук (Antonie van Leeuwenhoek, 1632–1723)**

Антони ван Левенхук је био холандски трговац, али његова радозналост према оптици учинила га је оцем микробиологије. Он није био научник, али је ручно израђивао мала, изузетно прецизна сабирна сочива – најбоља у Европи у 17. веку. Својим микроскопима – заправо лупама са веома малим фокусним растојањем, успео је први да посматра бактерије, еритроците и микроскопски свет. Његови инструменти су давали увећања и до 300 пута, нешто недостижно за друге оптичаре у то време.

ЗА 5+

Положај lika добијеног од предмета постављеног испред сочива не мора увек да се одређује преко конструкције lika. Постоји математичка веза између фокусног растојања сочива (f), растојања предмета од сочива (p) и растојања lika од сочива (l). Та веза може да се запише са једначином за танко сочиво:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l}.$$

У горњој формули фокусно растојање се узима као негативно ако је сочиво расипно. Ако је лик који се добија сочивом имагинаран, тада се за растојање од lika до сочива добија негативна вредност. Однос величине lika и величине предмета назива се увећање сочива и обележава се са u . Увећање огледала може да се израчуна преко односа величина lika и предмета или односа растојања од lika до

сочива и од предмета до огледала: $u = \frac{L}{P} = \frac{l}{p}$ где је L висина lika, а P висина предмета.

Растојање од предмета до сочива је p , а растојање од lika до сочива је l . Ако је количник L/P или количник l/p већи од 1, тада кажемо да је лик увећан, а ако су ови количници мањи од 1, каже се да је лик умањен у односу на предмет.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Очи мува имају по хиљаде минијатурних сочива која омогућавају панорамски вид.



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Када сабирно сочиво даје реалан, а када имагинаран лик предмета постављеног испред њега
2. Које сочиво даје само имагинаран лик?
3. Постави предмет на растојање које је једнако двоструком фокусном растојању испред сочива. Помоћу карактеристичних зрака одреди где се добија лик тог предмета.
4. Предмет је на растојању од 5 cm испред сабирног сочива са фокусним растојањем од 2 cm. Конструираш лик и одреди његов положај. Да ли је лик реалан или имагинаран.
5. Предмет висок 4 cm је постављен 10 cm испред сабирног сочива са фокусним растојањем од 5 cm. Конструираш лик и одреди његов положај. Колика је величина lika?



ЗАПАМТИ

- Сабирно сочиво ствара реалан и обрнут лик када је предмет на растојању већем од фокусног растојања и имагинаран, усправан и увећан лик када је предмет између сочива и фокуса.
- Расипно сочиво увек ствара имагинаран, усправан и умањен лик.

4.11. ДИСПЕРЗИЈА СВЕТЛОСТИ

ПОИМИ

бела светлост

спектралне боје

спектрален филтер

континуирани спектар

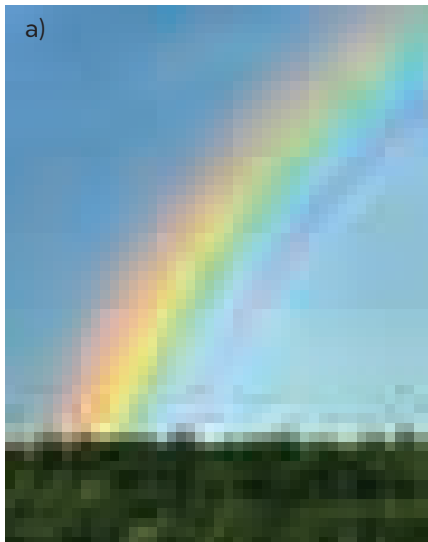
полихроматска светлост

дисперзија/разлагање

монохроматска светлост

виножито

Свет око нас је свет испуњен бојама, као што су виножито на небу, боје мехурића од сапунице, боје танких слојева уља на асфалту, одраз од компакт-диска и друго. Ове прекрасне појаве имају један заједнички узрок. **Бела светлост** није „једна боја“, већ се састоји од више боја. Само када се бела светлост разложи на своје саставне делове (боје), тада оне постају видљиве. Токму ово **разлагање беле светлости** се назива **дисперзија светлости**.



б)

в)

Слика 1. а) Виножито или дуга, б) Дисперзија светлости на мехурићу од сапунице, в) Дисперзија светлости на компакт-диску

Бела светлост што је емитује Сунце или електрична светиљка је **полихроматска светлост**, односно светлост састављена од различитих светлосних зрака који у нашем оку изазивају осећај различитих боја. Светлост емитована од неких извора може да има само једну боју. Пример за такву светлост је ласерска светлост. Овакву светлост називамо **монохроматска светлост**.

Када бела светлост прође кроз стаклену призму, она се прелама двапут: први пут при уласку у призму, а други пут при изласку из призме. Будући да се зраци са различитим бојама преламају под различитим угловима, бела светлост се разлаже у **спектар** односно редослед од **спектралних боја**: црвена, наранџаста, жута, зелена, плава, тамноплава и љибиџаста (Слика 1).

Разлагање светлости настаје зато што је индекс преламања стакла различит за различите боје. Виолетова светлост има највећи индекс преламања, па се, према томе, највише прелама (највише мења правац ширења), а црвена има најмањи индекс преламања, па се, према томе, најмање прелама.

Зато, спектар који гледамо је поређан од најмање преломљене црвене до највише преломљене љубичасте боје. У Табели 1 су дати индекси преламања различитих боја за стакло.



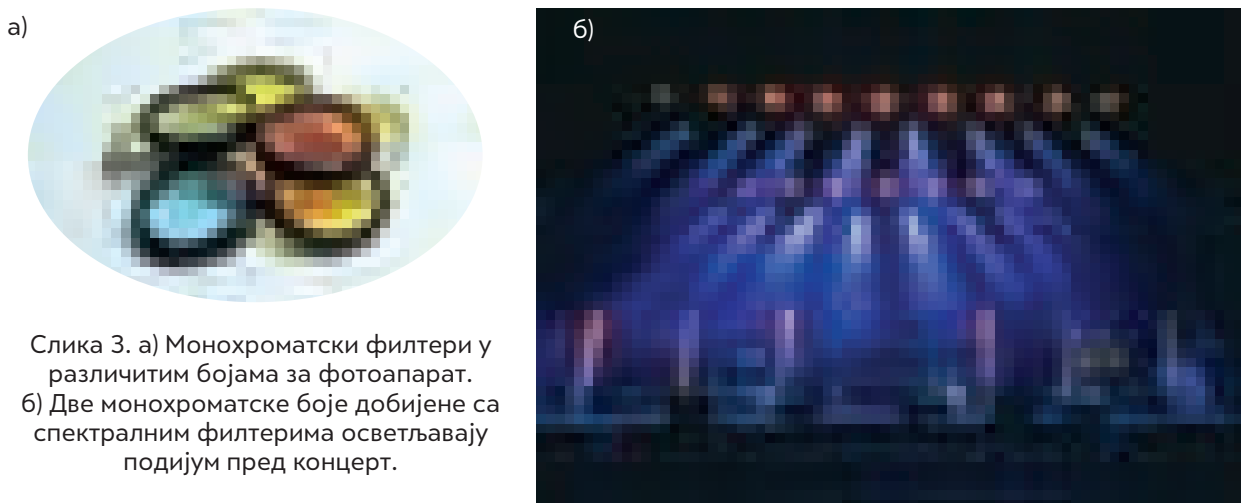
Слика 2. а) Дисперзија беле светлости од стаклене призме
б) Графички приказ преламања беле светлости кроз призму

Боја	Индекс на преламање у стакло
Љубичаста	1,540
Темноплава	1,533
Плава	1,530
Зелена	1,524
Жута	1,520
Наранџаста	1,517
Црвена	1,514

Табела 1. Индекси преламања различитих боја кроз стаклену призму

При датој појави, ако су све спектралне боје присутне без прекида, тада имамо континуиран спектар. Пример за такав спектар је спектар беле светлости. У оптици се често користе спектрални филтери за пропуштање само једне одређене боје од полихроматске светлости, док се задржавају – апсорбирају сви преостали (Слика 3а). У свакодневици, овакви филтери се примењују код фотоапарата и код камера за добијање израженијих боја, као и код наочара за заштиту од сунца, где се селективно блокирају штетни ултра љубичасте зраци. У медицини се користе код различитих

дијагностичких уређаја да би се побољшала видљивост неких ткива, а у лабораторијској опреми служе за добијање чисте монохроматске светлости при мерењима. Чак и код сценског осветљења, ови филтери омогућавају стварање специфичних визуелних ефеката, као што је приказано на Слика 3б.



Слика 3. а) Монохроматски филтери у различитим бојама за фотоапарат.
б) Две монохроматске боје добијене са спектралним филтерима осветљавају подијум пред концерт.



Слика 4. Дисперзија беле светлости од капљице воде.

Најлепши пример за дисперзију светлости су дуга или лук. Сунчева светлост се прелама у милионима ситних капљица воде у атмосфери док пада киша. Притом, свака капљица се понаша као мала призма. Светлост се прелама при уласку у капљицу, затим се одбија од зид капљице и поново се прелама при изласку. Ово двоструко преламање ствара велики закривљени спектар, односно дугу коју можемо видети на небу. Црвена светлост излази под најмалим углом, па се зато она налази на спољашњој страни лука, а љубичаста, која се прелама највише, појављује се са унутрашње стране. Дисперзија светлости од капљице воде је приказана на Слици 4. Дисперзија светлости се користи и у астрономији: спектри добијени од светлости раз-

личитих звезда откривају од каквих су елемената изграђене, колика им је температура, па чак и то колико се брзо крећу ка нама или од нас.

ЗА 5+

Узми CD или DVD и држи га тако да светлост од сијалице са влакном и неонке пада на његову површину. Полако мењај угао док се на диску не појави спектар. Неки од ових извора светлости не дају континуирани спектар већ линијски спектар – низ линија у различитим бојама које су раздвојене тамним линијама. Истражи који извори светлости дају линијске спектре?

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Јозеф фон Фраунхофер (Joseph von Fraunhofer, 1787–1826)

Фраунхофер је био немачки физичар који је направио револуцију у проучавању светлости. Он је први систематски испитао сунчев спектар користећи прецизне призме и телескопе и открио да оно што нама изгледа као континуирани спектар сунчеве светлости садржи стотине уских тамних линија које не можемо да приметимо разлагањем светлости обичном призмом. Данас су те тамне линије у сунчевом спектру познате као Фраунхоферове линије.

Ове линије представљају светлост која је апсорбована од стране елемената у атмосфери Сунца и постале су основа савремене спектроскопије (наука која проучава састав и својства супстанци кроз анализирање светлости коју оне емитују или апсорбују). Фраунхофер је, такође, побољшао израду стаклених сочива и призми, а његови инструменти су били најпрецизнији у Европи у то време. Захваљујући њему, научници су схватили да се светлост не само диспергује при проласку кроз призму.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Исак Њутн је први објаснио дисперзију светлости помоћу стаклене призме. Пре њега се мислило да су боје својство призме, а не светлости.



АКТИВНОСТИ

1. Разлагање беле светлости стакленом призмом

Узми призму и извор беле светлости, на пример сијалицу, или, користи сунчеву светлост. Усмери танак светлосни зрак ка једној од страна призме. Постави бели лист на супротну страну и полако окрећи призму док се на листу не појави спектар боја. Разгледај редослед боја. Да ли можеш да добијеш другачији распоред боја у спектру? Понови експеримент са ласерском светлошћу. Да ли се и у овом случају добија континуирани спектар?

2. Изучавање дисперзије светлости помоћу интерактивне интернет странице

На интернет страници https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_all.html постављена је симулација „Преламање светлости“ (Bending Light) која ће ти омогућити да истражиш дисперзију светлости одабиром симулације „Призме“ (Prisms). У овој симулацији можеш да испитујеш како се бела светлост разлаже на спектар боја при проласку кроз призму направљену од стакла или воде. Можеш да бираш различите средине у којима ће бити постављена призма (ваздух, вода) и да мењаш угао под којим пада светлост на призму, да укључујеш монохроматски извор светлости или белу светлост и да посматраш како се свака боја прелама под различитим углом. Истражи спектар добијен од беле светлости при дисперзији помоћу призме направљене од различитог материјала. Да ли средина у којој је постављена призма утиче на дисперзију светлости? Да ли се посматра дисперзија монохроматске светлости? Мењајући боју монохроматске светлости коју емитује извор, одреди која се боја најмање, а која највише прелама након проласка кроз призму. Постави две призме једну до друге, при чему се призме додирују једном од страна. Шта се дешава са светлошћу када прође кроз обе призме? Да ли се разложена светлост из прве призме поново меша у белу светлост када излази из друге призме?



ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

1. Шта представља дисперзија светлости и када се појављује?
2. Која је разлика између полихроматске и монохроматске светлости?
3. Ако одређени спектрални филтер пропушта само зелену светлост, шта ће се десити ако се испред њега постави бели извор светлости?
4. Објасни зашто се дуга увек појављује на супротној страни од Сунца.
5. У лабораторији се посматра спектар створен призмом. Уколико извор уместо беле светлости емитује само једну боју, шта ће се појавити на екрану?



ЗАПАМТИ

- Бела светлост је полихроматска светлост, односно састављена је од много боја.
- Дисперзија је појава када се бела светлост разлаже на спектралне боје услед различитог индекса преламања за сваку боју.
- Спектар беле светлости је континуиран и садржи све боје од црвене до љубичасте.
- Дуга је природна појава дисперзије при којој се сунчева светлост разлаже у капљице кише.
- Монохроматска светлост садржи само једну боју, а полихроматска светлост садржи више боја.

4.12. ГРАЂА ЉУДСКОГ ОКА

ПОИМИ

очно сочиво

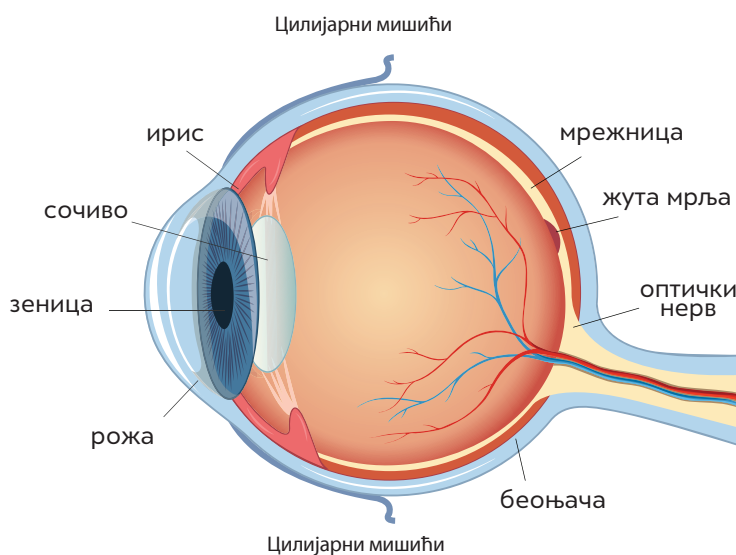
мрежњача

жута мрља

кратковидост

далековидост

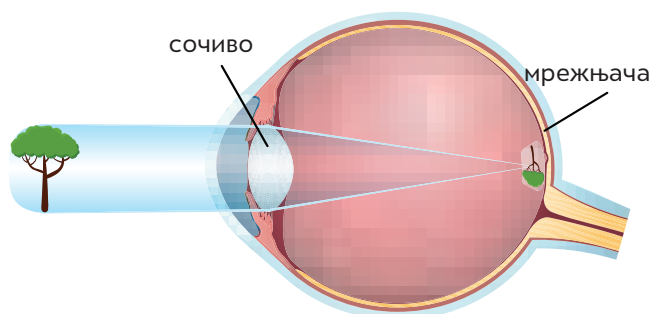
Наш вид је резултат једног од најсавршенијих природних оптичких уређаја — људског ока. Иако на први поглед изгледа једноставно, око је сложен оптички систем изграђен од више делова који заједно омогућавају да видимо предмете око нас јасно, детаљно и у боји. Када светлост рефлектована од неког предмета улази у око, она се прелама на неколико места и ствара јасну слику. Најважнији делови који учествују у овом процесу су **очно сочиво**, **мрежњача** и **жута мрља**.



Слика 1. Људско око и његови делови

Очно сочиво се налази иза зенице и представља **сабирно сочиво са променљивим фокусним растојањем**. Оно је провидно, еластично и може да мења своју закривљеност уз помоћ малих мишића. На овај начин око се прилагођава да гледа предмете који се налазе на различитим растојањима. Овај процес се назива **акомодација ока**. Када гледамо блиске предмете, сочиво се „заобљује“ или постаје шире на средини, чиме се фокусно растојање смањује, а када гледамо далеке предмете, сочиво се „издужује“, односно постаје тање на средини, чиме се фокусно растојање повећава. Код одраслих особа фокусно растојање очног сочива се креће у интервалу од 14 mm, када је око максимално напрегнуто и гледа предмете који су близу њега, до 17 mm, када око гледа предмете који су на великим растојањима и налази се у релаксираном стању. Код деце се фокусно растојање при максималном напрезању ока може смањити још за неколико милиметара.

На задњем делу ока налази се **мрежњача**, слој осетљивих ћелија које претварају светлост у електричне сигнале. Ови сигнали се преко очног живца преносе до мозга, који тумачи добијену слику.



Слика 2. Формирање слике код здравог људског ока

овој удаљености мишићи који мењају облик сочива готово да нису активни и сочиво се налази у свом природном, опуштеном облику. Зато, читање, цртање или рад са ситним предметима на 25 cm је најпријатније и најмање заморно за око. Када се предмети приближе на мање од 25 cm, око и даље може да фокусира зраке на жуту мрљу, али уз смањење.

Код здравог ока, правилно преламање светлости доводи до тога да се лик формира тачно на мрежњачи, односно на месту где се налази **жута мрља**. Лик који се ствара је **реалан, преврнут и умањен**, слично као што се формирају ликови код сабирног сочива, када је предмет на много већем растојању од фокусног растојања сочива. Мозак преврће слику, па предмете видимо усправно.

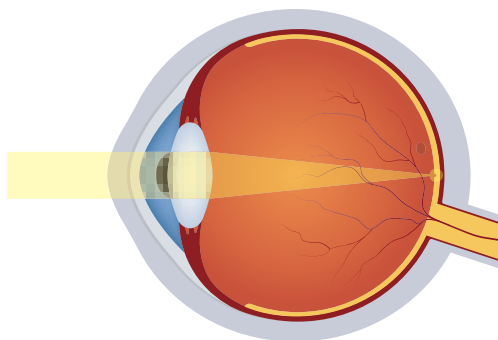
Но, код неких људи постоји поремећај у преламању светлости кроз сочиво у оку.

Две најчешће појаве су **кратковидост** и **далековидост**. Код кратковидости (миопија) светлосни зраци након преламања кроз сочиво формирају лик испред жуте мрље, као што је приказано на Слици 4а. Ово се дешава ако је очно сочиво превише заобљено, односно ако има велико фокусно растојање. Кратковиди људи добро виде предмете који су близу, али тешко виде предмете који су далеко. За корекцију се користе **расипна сочива** (наочаре са негативном оптичком јачином), која расипају светлост пре него што уђе у око, тако да се зраци поново фокусирају на жуту мрљу, Слика 4б.

Далековидост (хиперопија) је поремећај када зраци након преламања кроз сочиво формирају лик иза жуте мрље (Слика 5а). Узрок овоме је недовољно испупчено очно сочиво, односно сочиво има велико фокусно растојање или малу оптичку моћ. У овом случају, особа тешко види предмете који су близу ње, а предмете који су далеко види боље. Корекција се врши **сабирним сочивима** (наочаре са позитивном оптичком јачином), која сакупљају светлосне зраке пре него што уђу у око, тако да се зраци поново фокусирају на жуту мрљу. Слика 5б.

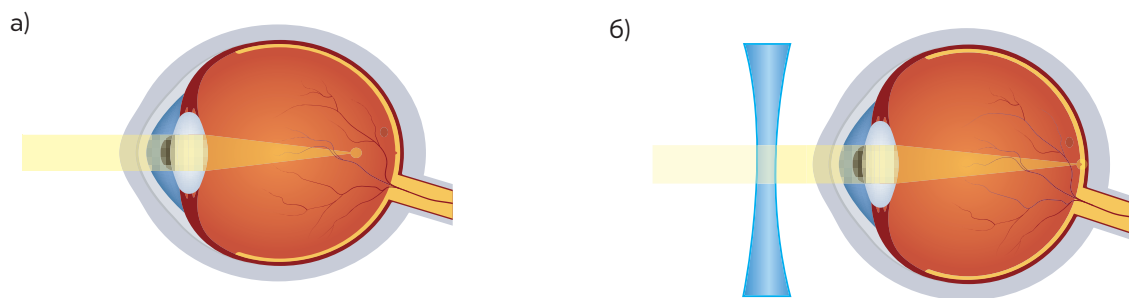
Најосетљивији део мрежњаче је **жута мрља**. То је место са највећом концентрацијом фоторецептора (ћелија које светлост претварају у нервне – електричне сигнале). Управо ту око ствара најоштрије и најпрецизније слике.

Људско око најбоље види без икаквог напрезања када се предмети налазе на удаљености од ока од 25 cm. На

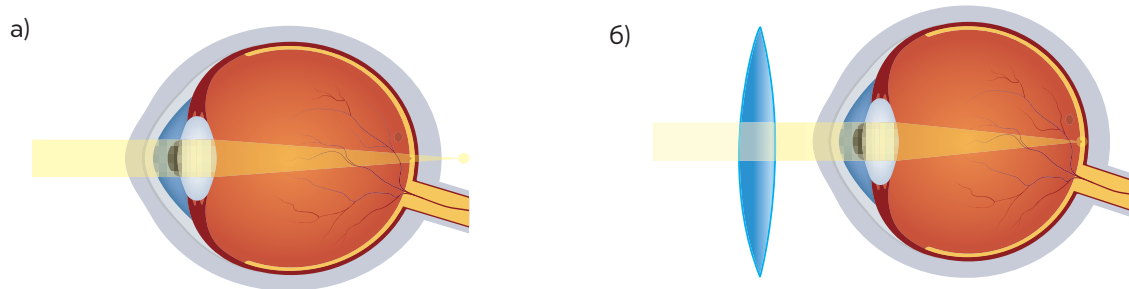


Слика 3. Нормалан вид код здравог ока. Зраци након преламања кроз очно сочиво падају на жуту мрљу

Људско око представља уникатан пример где се биологија и физика спајају: сочиво са променљивим фокусом и сложени систем за обраду слике стварају оптички систем који још увек превазилази тачност и флексибилност многих техничких уређаја.



Слика 4. а) Кратковидост или миопија б) Испред ока се поставља расипно сочиво које расипа зраке пре очног сочива, па се након проласка кроз њега лик формира у жутој тачки.



Слика 5. а) Далековидост или хиперопија б) Испред ока се поставља сабирно сочиво које сакупља зраке пре очног сочива, па се након проласка кроз њега лик формира у жутој мрљи.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК



Херман фон Хелмхолц (Hermann von Helmholtz, 1821–1894)

Хелмхолц је био немачки физичар и физиолог који је дао огроман допринос разумевању вида. Он је први детаљно описао акомодацију или прилагођавање ока и измерио промену фокусног растојања очног сочива. Хелмхолц је, такође, конструисао офталмоскоп — уређај који омогућава лекарима да посматрају унутрашњост ока. Његов рад представља темељ савремене офталмологије која је грана медицине која се бави проучавањем, дијагностиком, лечењем и превенцијом болести и поремећаја ока и система за вид.



АКТИВНОСТ

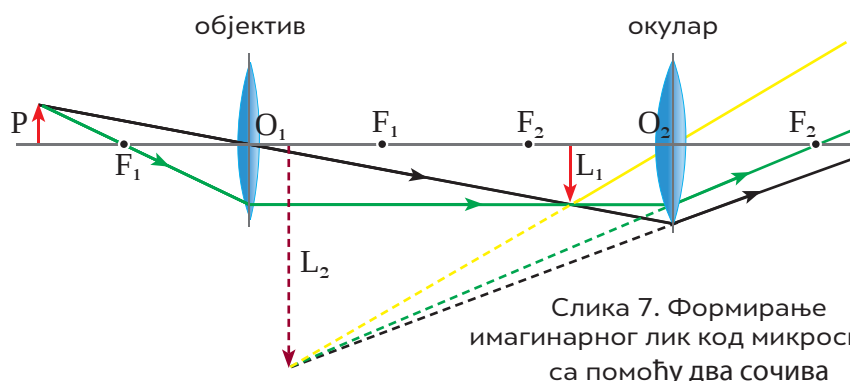
1. Одређивање фокусног растојања сабирног сочива

Узми наочаре које су направљене од сабирних сочива (може од члана породице или стари модел). Постави их на сто и осветли их малим извором светлости (лампа или мобилни). Иза сочива постави бели лист и полако их померај напред-назад све док не добијеш најјаснији лик извора. Измери растојање од наочара до екрана? Шта представља ово растојање? Да ли можеш да израчунаш оптичку јачину ових сочива? Да ли се вредност коју си израчунао поклапа са оптичком јачином написаном на оквиру наочара? Ако постоји разлика, размисли где могу да настану грешке

при мерењу? Понови поступак са наочарима за заштиту од сунца? Да ли ове наочаре омогућавају фокусирање светлости у једну тачку? Да ли ове наочаре имају сочива?

ЗА 5+

Оптички микроскопи служе за посматрање веома малих предмета који се не могу видети голим оком, па чак ни лупом. Најједноставнији оптички микроскоп се састоји од два сабирна сочива постављена једно иза другог. Сочиво које се налази ближе предмету назива се објектив, а сочиво ближе оку назива се окулар. Начин стварања lika у микроскопу је такав да свако од сочива има различиту улогу у увећању.



Слика 7. Формирање имажинарног lika код микроскопа са помоћу два сочива

Објектив је сабирно сочиво са веома малим фокусним растојањем. Када се предмет поставља мало даље од његовог фокусног растојања, објектив ствара реалан, обрнут и увећан лик. Микроскоп се нагоде тако што лик формиран од објектива налази се

између фокуса и сочива окулару и представља предмет за окулар. У овом положају, окулар ради као лупа, стварајући други лик који је имажинаран, још више увећан и обрнут у односу на стварни предмет.

Коначни лик који посматрач види је резултат двоструког увећања: прво од објектива, а затим и од окулару. На Слици 7 је приказано формирање lika предмета код микроскопа.

Укупно увећање микроскопа може се израчунати преко увећања објектива и окулару помоћу формуле: $u_{\text{микроскоп}} = u_{\text{објектив}} \cdot u_{\text{окулар}}$.

ПИТАЊА И ЗАДАЦИ

- Када се око понаша као сочиво са мањим фокусним растојањем – при гледању блиских или удаљених предмета?
- Особа користи сочиво јачине -2 D . Колико износи фокусно растојање сочива?
- Далековида особа користи наочаре јачине $+3 \text{ D}$. Израчунај фокусно растојање сочива.
- Како расипно сочиво помаже кратковидом оку да јасно види.
- Предмет је постављен 25 cm од ока, а око може јасно да види само на растојању од 50 cm . Какво сочиво је потребно за јасан вид и зашто?

ЗАПАМТИ

- Људско око се понаша као сабирно сочиво које ствара реалан, обрнут и умањен лик
- Lик се формира на мрежњачи, на најосетљивијем делу који зовемо жута мрља.
- Кратковидост је поремећај код ког око не може јасно да види предмете који су на великим удаљеностима од њега. Коригује се расипним сочивима.
- Далековидост је поремећај код ког око не може јасно да види предмете који су на малим удаљеностима од њега. Коригује се сабирним сочивима.

ЗАНИМЉИВОСТИ

У жутој мрљи има приближно 200000 фоторецептора по mm^2 .

4.13. АДИТИВНО И СУПТРАКТИВНО МЕШАЊЕ БОЈА

ПОИМИ

основне боје

изведене боје

адитивно
мешањесуптрактивно
мешање

Мрежњача ока има милионе фотоосетљивих рецептора, односно ћелија осетљивих на светлост. Оне претварају светлосне зраке у електричне нервне импулсе који се затим преносе до мозга, где се формира слика предмета које посматрамо. Постоје две врсте фотоосетљивих ћелија: **штапићи** и **чепићи**. Штапићи су осетљиви на слабу светлост и омогућавају нам да видимо ноћу или у затамњеним просторијама. Они не разликују боје, већ нам омогућавају да уочавамо облике и покрете при слабом осветљењу. Чепићи најбоље функционишу при јакој дневној светлости и осетљиви су на различите боје. У људском оку постоје три врсте чепића осетљивих на црвену, зелену и плаву светлост. Када светлост пада на њих, они шаљу електричне нервне импулсе до мозга. Мозак комбинује сигнале из све три врсте чепића и тако ствара утисак читаве палете боја које видимо. Зато црвену, зелену и плаву називамо **основним бојама**.

Адитивно мешање боја

Адитивно мешање је комбиновање светлосних зрака различите боје. Ако некој од основних боја додамо другу основну боју, тада добијамо **изведене** или **секундарне боје**:

- Црвена + зелена → жута
- Црвена + плава → магента
- Зелена + плава → тиркизна



Слика 1. Адитивно мешање основних боја. Три светлосна извора су усмерена ка екрану. Централни део слике где се адитивно мешају три основне боје је бео. Мешање две основне боје ствара изведену боју.

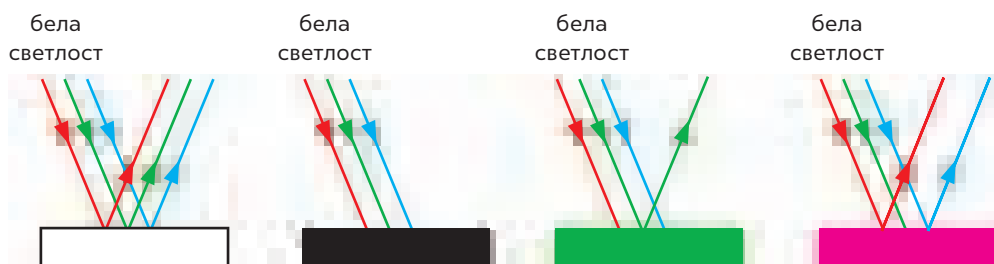
Када се комбинују три основне боје добија се бела светлост. На Слици 1 је приказано адитивно мешање светлости добијене од светлосних извора који емитују три основне боје. Примаран начин добијања боја код екрана телефона, рачунара, телевизора и сличних уређаја је RGB комбинација (скраћеница од Red, Green, Blue). Контролисаним додавањем основних боја могу се добити милиони различитих нијанси боја.

Адитивното мешање боја је својствено за светлост и појављује се увек када су светлосни извори који зраче светлост у основним бојама усмерени на исто место. Адитивним мешањем све више боја, резултат је светлија боја.

Суптрактивно мешање боја

Бела светлост је полихроматска светлост, односно она је састављена од више различитих боја. Када бела светлост дође до неког материјала, одређене боје се апсорбују, а друге се рефлектују. Притом, апсорпцију неких боја тумачимо као одузимање боја, а рефлектована светлост је она коју наш мозак препознаје као боју. Овакво мешање боја назива се **суптрактивно мешање боја**.

Бела тканина рефлектује светлосне зраке у свим бојама, док црна тканина не рефлектује светлост, већ апсорбује све светлосне зраке који падну на њу (Слика 2). Зелена тканина рефлектује зелену светлост, али апсорбује црвену и плаву. Кажемо, зелена тканина одузима или суптрахује плаву и црвену боју из беле светлости. За љубичасту тканину кажемо да одузима или суптрахује зелену боју из беле светлости. Ако се ова површина осветли зеленом бојом, она ће изгледати црно.

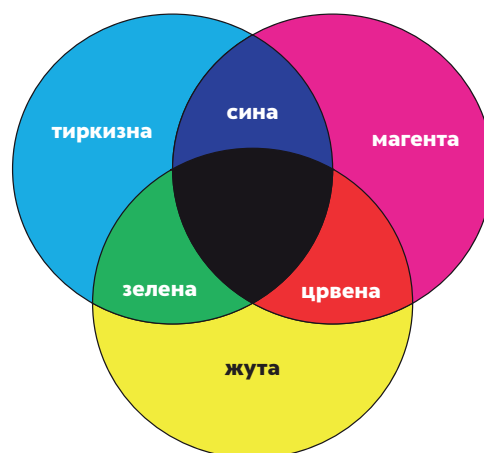


Слика 2. Апсорпција и рефлексија светлости од беле, црне, зелене и магента површине.

На Слици 3 је представљено суптрактивно мешање боја. Простор на слици је осветљен истовремено са три секундарне боје. Суптрактивно мешање секундарних боја даје основне боје:

- тиркизна + магента → плава
- магента + жута → црвена
- жута + тиркизна → зелена

Осим код непровидних предмета, суптрактивно мешање боја се постиже и код провидних предмета, као што су оптички филтри. И код њих се неке боје светлости апсорбују (одузимају) и не пролазе кроз филтер. На пример, ако бела светлост пада на црвени филтер, биће пропуштена само црвена боја.



Слика 3. Суптрактивно мешање боја. Три извора светлости секундарних боја су усмерена ка екрану. У централном делу екрана, где се преклапају три боје, долази до суптрактивног мешања и апсорпције сваке од боја, па тај део изгледа црно.

Ако предмет осветлимо светлошћу различитих боја, тада нам он може изгледати као да је „променио“ своју боју, односно да изгледа другачије него када је осветљен белом светлошћу. На пример, при осветљавању зеленом светлошћу, црвена мајица ће изгледати црно, зато што ће зелена светлост бити апсорбована. Жути лимун осветљен зеленом светлошћу изгледаће зелено. Пошто се жута боја добија адитивним мешањем црвене и зелене боје, лимун рефлектује само зелену светлост.

Два начина мешања боја су суштински различита, али их свакодневно срећемо и користимо и један и други. Разумевањем њихове разлике, разумеће се како функционишу монитори, штампачи и како наше око и мозак перципирају боју у свету око нас. Такође, ово је важно у областима као што су уметност, дизајн, фотографија, штампање, сценско осветљење и у свим областима где боја има кључну улогу.



АКТИВНОСТИ

1. Истраживање са правим филтерима

Узми батеријску лампу или танак сноп беле светлости и усмери га ка филтеру црвене боје. Види каква светлост пролази кроз њега. Сада понови експеримент са зеленим и плавим филтером. Уколико немаш филтере, нађи стакла различите боје. Почни да комбинујеш филтере: црвени + зелени, зелени + плави, црвени + плави. Забележи да неке комбинације пропуштају веома малу количину светлости, а неке стварају нове боје. Које боје добијаш комбинацијом филтера? Објасни какву врсту мешања боја имаш у овој активности, адитивну или суптрактивну?

2. Њутнов диск – разлагање и поновно спајање боја

Да би разумео како се бела светлост може „створити“ мешањем боја, изради Њутнов диск. На парчету картона нацртај шест сектора и обоји их основним и изведеним бојама (црвена, наранџаста, жута, зелена, плава, љубичаста).

Постави диск на штапић, држи га међу прстима и брзо га заврти. Видећеш да се све боје мешају и диск ће изгледати бело. За шта је доказ ова активност? Какво мешање боја имамо у овој активности?

3. Боја предмета

Набави неколико обојених предмета — на пример, црвени, зелени, плави, жути и бели папир. Осветли предмете црвеном, зеленом и плавом светлошћу одвојено. Запиши под којом светлошћу предмет изгледа светло, тамно или мења боју. Да ли је боја предмета његово својство или зависи од тога којом бојом је осветљен предмет?

ЗА

5+

Истражи о светлости коју емитују ЛЕД диоде и зашто та светлост има посебну важност за савремену технологију.



ЗАНИМЉИВОСТИ

Код неких животиња, спектар видљиве светлости је другачији. На пример, пчеле виде ултра-љубичасту светлост.

★ ПОЗНАТИ НАУЧНИК

**Шуџи Накамура (Shuji Nakamura 1954)**

Накамура из Јапана је инжењер и физичар који је постигао једно од најважнијих открића у модерној оптичкој електроници: плаву светлећу ЛЕД диоду. Радећи деведесетих година прошлог века, Накамура је успео да створи стабилан и енергетски ефикасан материјал – галијум нитрид – који је омогућио производњу плавих ЛЕД диода, нешто што су научници покушавали да постигну деценијама. За ово своје откриће, Накамура је добио Нобелову награду за физику 2014. године. Откриће плаве ЛЕД диоде је од огромног значаја, јер се управо комбинацијом црвених, зелених и плавих ЛЕД диода ствара бела светлост, али и све друге боје на екранима. Савремени

телевизори, компјутери, мобилни телефони и ЛЕД дисплеји користе управо такве диоде како би приказали јасну, светлу и енергетски ефикасну слику. Захваљујући плавој ЛЕД диоди, данашњи екрани су тањи, штедљивији и видљивији, са много бољим контрастом и резолуцијом него раније.

**ПИТАЊА И ЗАДАЦИ**

1. Својим речима, објасни шта је адитивно, а шта суптрактивно мешање боја?
2. Зашто црвена ружа, ако се осветли плавом светлошћу, изгледа црно?
3. Ако на белу тканину усмериш црвену и плаву светлост, коју ћеш боју добити?
4. Ако се плави предмет осветли жутом светлошћу, како ће изгледати предмет?
5. Два филтера, тиркизни и магента, постављени су један преко другог. Који део беле светлости ће бити пропуштен?

**ЗАПАМТИ**

- Основне боје су црвена, зелена и плава. Њиховим адитивним мешањем добијамо белу светлост.
- Секундарне боје су жута, тиркизна и магента. Њиховим суптрактивним мешањем добијају се тамне нијансе.
- Боја осветљеног предмета одређена је апсорпцијом и рефлексијом одређених боја.

ТЕМА 4. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ ЗА ПОНАВЉАЊЕ И УТВРЂИВАЊЕ

1. Замисли да се возиш ноћу аутомобилом по правом путу и да у првом случају има магле, а у другом случају нема. У ком од случајева светла аутомобила осветљавају већи део пута? Објасни шта се дешава са паралелним сноповима светлости које емитују светла аутомобила када је магловито и зашто је видљивост смањена.
2. Ујутру је сунце ниско изнад хоризонта. Сенка једног дрвета је дуга 20 m. У подне је сенка само 5 m. Како се ова појава може објаснити праволинијским ширењем светлости и положајем сунца?
3. На Земљи настаје смена дана и ноћи зато што:
 - а) Земља је равна
- б) Светлост се шири праволинијски и Земља ротира око своје осе
 - в) Сунце се креће око Земље
- г) Земља има атмосферу
4. Зашто се сенка предмета мења са променом растојања од предмета до светлосног

извора?

5. У овој табели је дат полупречник сенке коју ствара сферни предмет полупречника 2 cm на екрану који је удаљен 100 cm од предмета.

Предмет је осветљен тачкастим извором светлости:

- а) Нацртај зависност полупречника сенке од удаљености извора светлости од предмета.
- б) Уз помоћ графика, одреди колики ће бити полупречник сенке када се извор налази на растојању од 30 cm од предмета.
- в) На ком растојању од предмета треба да буде постављен извор светлости да би сенка имала полупречник од 15 cm.

Растојање од тачкастог извора до предмета (cm)	Полупречник сенке (cm)
10	20
20	10
25	8
40	5
50	4

6. На растојању $x = 50 \text{ cm}$ од равног огледала

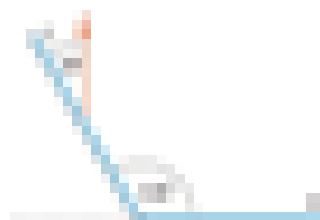
постављен је тачкасти извор светлости S. На истом растојању x од светлосног извора је око посматра-ча, као што је приказано на слици.

- а) Графички одреди положај лика светлосног извора у огледалу до ока посматра-ча.
- б) Израчунај растојање од лика светлосног извора у огледалу до ока посматра-ча.

7. Човек стоји 1,5 m испред огледала и помера се 0,5 m уназад. При том положају човека, за колико метара се удаљио његов лик од предмета?

8. Два вертикална огледала су постављена на растојању од 2 m. Ученица стоји на 0,5 m од првог огледала. Под претпоставком да се зраци одбијају прво од првог, а затим од другог огледала, одреди:

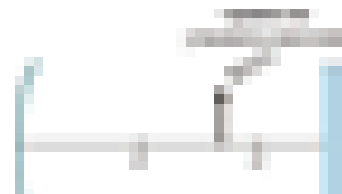
- а) На којем растојању ће се формирати први лик у првом огледалу?
- б) На којем растојању од девојке ће се формирати први лик у другом огледалу?
- в) Какво ће бити растојање између других ликова који се формирају у два огледала. Направи скицу којом ћеш приказати формирање ликова у огледалима.
9. Светлосни зрак пада на прво огледало који се рефлектује и пада на друго огледало. (Слика десно.)
 - а) Нацртај пут зрака
 - б) Одреди упадни угао зрака када он пада на прво огледало.



в) Одреди упадни угао када зрак пада на друго огледало.

10. Зашто јасно видимо свој лик у огледалу, али не и у белом зиду?

11. Које од тачкастих објеката може да види посматрач који гледа у равно огледало у тачки О, као што је приказано на слици?



12. Четвороугао направљен од танке жице је постављен испред огледала као што је приказано на слици лево. Конструирај лик четвороугла у огледалу.

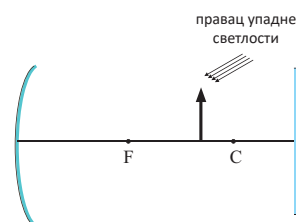
13. Испред удубљеног огледала са фокусним растојањем од 15 cm поставља се предмет на растојање од 30 cm од темена огледала.

а) Конструирај лик помоћу два карактеристична зрака.

б) Какав је положај, оријентација и величина лика у поређењу са величином предмета?

14. Како се мења величина лика код удубљеног огледала када се предмет помера од бесконачности ка фокусу?

15. На слици је приказан предмет који се налази између удубљеног и равног огледала. Светлосни зраци падају на предмет тако да се прво формира лик од сферног огледала који представља предмет за равно огледало. Кон-



струирај прво лик који ће дати удубљено огледало, а затим лик који ће се добити у равном огледалу.



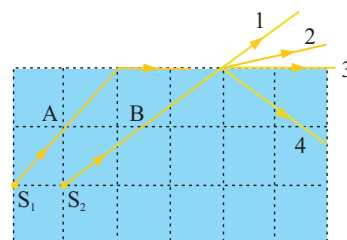
16. Кон-

струирај лик предмета у облику стрелице који је постављен испред удубљеног и испред испупченог огледала, као што је приказано на слици лево.

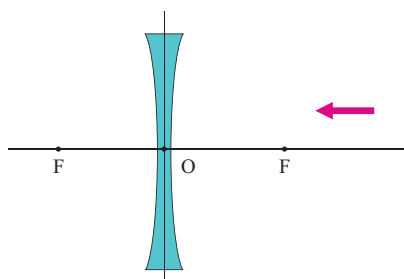
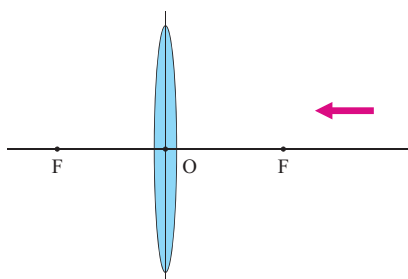
17. На слици лево су приказана два светлосна извора који се налазе у води и емитују зраке А и В ка граничној површини вода – ваздух.

На граничној површини зрак А се прелама под углом од 90° .

АВ По којем од понуђених праваца ће се ширити зрак В на граничну површину вода – ваздух? Образложи свој одговор.



18. Монохроматски светлосни зрак пролази кроз три оптичке средине. Према преламању зрака, одреди која средина има највећи индекс преламања. Да ли постоје две средине које имају једнак индекс преламања.



19. Колико је фокусно растојање сочива које има оптичку јачину: а) 1 D, б) 0,25 D, в) -4 D, г) -10 D?

20. Конструирај лик предмета у облику стрелице који је постављен испред сабирног и испред расипног сочива, као што је приказано на слици.

А

Агрегатно стање – физичко стање у коме може да постоји једна супстанца: чврсто, течнo или гасовитo

Адитивно мешање – мешање основних боја; мешањем црвене, зелене и плаве светлости добија се бела светлост

Аморфно тело – чврсто тело без правилне кристалне структуре (нпр. стакло, пластика)

Анјон – негативно наелектрисан јон који настаје када електронеутралан атом или група атома прими један или више електрона

Анода – при електролизи, позитивна електрода

Аномалија воде – појава при којој вода има највећу густину на 4 °C, а не на температури смрзавања. Густина воде се смањује са снижавањем њене температуре у интервалу од 4 °C до 0 °C

Апсолутна нула (T₀) – најнижа могућа температура при којој молекули престају да се крећу: 0 K = -273,15 °C

Апсолутна температура (T) – температура супстанце изражена у келвинима.

Апсорпција – примање енергије од површине при излагању зрачењу

Атмосфера – гасовити омотач око Земље

Атом – најмања структурна честица хемијског елемента која задржава његова својства, састављена од језгра и електронског омотача

Атомско језгро – централни део атома састављен од протона и неутрона

Б

Бела светлост – светлост састављена од свих боја видљивог спектра

Бестежинско стање – стање у коме тела немају тежину.

Брауново кретање – хаотично кретање ситних честица у течности или гасу, изазвано сударима са молекулима средине

Брзина – промена неке величине током времена

Брзина светлости – растојање које светлост пређе за 1 секунду. У вакууму се светлост простире константном брзином: $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

В

Вакуум – простор без ваздуха

Ват (W) – SI јединица за снагу; 1 W је снага када се изврши рад (или пренесе енергија) од 1 J за време од 1 s

Вектор – усмерена дуж код којој су познате почет-

на и крајња тачка

Векторске величине – физичке величине које имају интензитет, правац и смер

Вертикални правац – правац дејства Земљине теже

Г

Галванизација – процес при коме се метални предмет превлачи другим металом помоћу електричне струје

Галвански елемент – електрохемијски извор једносмерне струје, састављен од две различите електроде и електролита

Гас – агрегатно стање супстанце које нема одређен облик ни запремину; честице се слободно крећу

Гвоздено језгро – комад гвожђа уметнут у калем ради појачања магнетног поља

Геотермална енергија – енергија добијена од топлоте из унутрашњости Земље

Главна оптичка оса – права која пролази кроз теме и центар огледала или кроз центре кружница од којих је сачињено сочиво

Гравитациона потенцијална енергија – енергија тела услед његовог положаја у гравитационом пољу

Гравитациона сила – мера гравитационог деловања

Гравитационо деловање – привлачно деловање између било која два тела у васиони

Гравитационо поље – физичко поље посредством којег се преноси гравитационо узајамно деловање

Градивне јединице – најситније честице од којих је сачињена супстанца (атоми, молекули, јони)

Гранични угао – највећи угао упада светлости на граници двеју оптичких средина при коме светлост још увек може да пређе у другу средину

Грмљавина – звук изазван наглим загревањем и ширењем ваздуха око електричног пражњења (муња, гром)

Гром – електрична струја (електрично пражњење) између облака и Земље

Громобран – метална конструкција постављена на високим објектима која служи за заштиту од грома; безбедно спроводи електричну струју у земљу

Густина – количник масе и запремине тела

Д

Далековидост – поремећај вида при коме се слика блиских предмета формира иза мрежњаче; коригује се сабирним сочивима

Деформација – промена облика или величине

тела под дејством спољашње силе

Диоптрија (D) – јединица јачине сочива; дефинисана као реципрочна вредност фокусног растојања израженог у метрима

Дисконтинуални спектар – спектар у коме се појављују тамне линије

Дисперзија (разлагање) – појава при којој се бела светлост разлаже на спектралне боје при проласку кроз призму или кроз капи воде

Дифузија – процес самосталног, спонтаног, без спољашњег утицаја, мешања честица двеју супстанци услед њиховог хаотичног кретања

Дифузно одбијање – појава када се светлост одбија од неравне површине, па се зраци одбијају у различитим правцима

Дуга – природна појава дисперзије Сунчеве светлости у кишним капима, при чему настаје континуални спектар боја

Е

Експеримент – поступак којим се испитују, доказују или потврђују научне појаве или хипотезе посматрањем и мерењем у контролисаним условима

Еластична потенцијална енергија – енергија која се складишти у еластичном телу (опруга, гума) при деформацији

Електрана – постројење које производи електричну енергију из различитих извора (хидро, термо, нуклеарна, соларна)

Електрична енергија – енергија коју носе електрична наелектрисања у кретању; најчешће коришћен облик енергије у свакодневном животу

Електрична инфлуенција (утицај) – појава при којој се електрично наелектрисање у једном телу прерасподељује под утицајем оближњег наелектрисаног тела, без директног контакта

Електрична проводљивост – способност материјала да проводи електричну струју; зависи од броја слободних електрона

Електрична струја – усмерено кретање електрона (или других носилаца наелектрисања) кроз проводник

Електричне линије силе – замишљене линије које представљају правац и смер електричног поља

Електрични извор – уређај који омогућава протикање електричне струје у струјном колу

Електрично поље – физичко поље посредством којег се преноси електростатичко узајамно дејство

Електрода – проводник који се уноси у електролит

Електролиза – процес разлагања електролита помоћу електричне струје

Електролит – супстанца која у раствору проводи електричну струју захваљујући присуству јона (во-

дени раствор соли, база или киселина)

Електролитичка дисоцијација – процес при коме се честице соли, база или киселина разлажу на јоне када се растворе у води

Електромагнет – уређај састављен од калема са гвозденим језгром кроз који тече струја; ствара јако магнетно поље које се може укључивати и искључивати

Електрометар – мерни инструмент који показује количину електричног наелектрисања којим је неко тело наелектрисано

Електрон – негативно наелектрисана честица која кружи око језгра атома

Електронски омотач – простор око језгра у коме се могу налазити електрони

Електроскоп – најстарији инструмент за утврђивање наелектрисаности тела

Електростатичка сила – сила која делује између два стационарна електрична наелектрисања; може бити привлачна или одбојна

Елементарно електрично наелектрисање (e) – најмања количина електричног наелектрисања, једнака наелектрисању једног електрона или једног протона

Енергија (E) – физичка величина која изражава способност тела или система да врши рад

Енергија ветра – кинетичка енергија ветра

Енергија воде – потенцијална или кинетичка енергија воде

Енергија воденог таласа – механичка енергија водених таласа

Енергија плиме и осеке – механичка енергија воде при плими и осеци

Енергија фосилних горива – енергија која се добија сагоревањем угља, нафте и природног гаса

Ж

Жута мрља – најосетљивији део мрежњаче на коме се ствара лик

З

Закон о одржању енергије – укупна енергија у систему не може ни настати ни нестати, већ само прелазити из једног облика у други

Закон о одржању механичке енергије – укупна механичка енергија у изолованом систему је константна

Запремина – простор који заузима једно тело или једна супстанца

Земљина тежа – сила којом Земља привлачи тела ка свом центру

Земљино убрзање – убрзање које добијају сва тела која слободно падају ка Земљи под дејством њене

гравитационе силе

Зрачење (радијација) – пренос топлоте помоћу топлотног зрачења

И

Изведене боје – боје добијене мешањем основних боја

Извор енергије – природни или технички систем из кога се може добити енергија (Сунце, вода, ветар, гориво, батерија)

Издужење – повећање дужине неког материјала или тела када на њега делује сила

Изолятор – супстанца кроз коју не протиче електрична струја.

Изолвани систем – физички систем који не размењује енергију ни материју са околином

Имагинарни лик – лик који се не може пројектовати на екран.

Индекс преламања (n) – количник брзине светлости у вакууму и брзине светлости у некој оптичкој средини

Испуњено (конвексно) огледало – сферно огледало чија се рефлектујућа површина налази на спољашњој страни исечка сфере

Ј

Јачина сочива – физичка величина која показује способност сочива да сабира или расипа светлосне зраке

Једињење – супстанца састављена од атома или јона два или више различитих елемената

Једносмерна струја – електрична струја која увек тече у истом смеру у струјном колу

Јони – атоми или молекули са електричним наелектрисањем који нису електронеутрални

Јонизатори – уређаји који стварају јоне у гасовима

Јонизација – процес при коме атом или молекул губи или прима електроне и претвара се у јон

К

Калем (соленоид) – проводник намотан у спиралу; када кроз њега тече струја, ствара магнетно поље слично магнету у облику штапа

Калориметар – инструмент за мерење количине топлоте

Катјон – позитивно наелектрисан јон

Катода – при електролизи, негативна електрода

Келвин (K) – SI јединица за температуру

Келвинова температурна скала – апсолутна температурна скала; почиње од апсолутне нуле

Кинетичка енергија – енергија коју има тело које

се креће

Коефицијент еластичности – физичка величина која показује колика је сила потребна да се еластично тело издужи или сабије за јединицу дужине

Коефицијент корисног дејства (ефикасност) – однос између корисног рада или енергије и укупног уложеног рада или енергије

Количина електрицитета (q) – физичка величина која изражава укупну количину електричног наелектрисања

Компонента силе – део силе који делује у одређеном правцу

Континуални спектар – спектар у коме су присутне све боје видљиве светлости без прекида

Кратак спој – појава када се два проводника повезана на различите полове извора струје директно споје, без потрошача у струјном колу; изазива нагло повећање јачине струје и оштећење кола

Кратковидост (миопија) – поремећај вида при коме се лик удаљених предмета формира испред мрежњаче; коригује се расипним (конкавним) сочивима

Кретање – промена положаја једног тела у односу на друга тела

Кристално тело – чврсто тело у коме су честице распоређене у правилну кристалну решетку

Кулон (C) – SI јединица за електрично наелектрисање.

Л

Лик (слика) предмета – представа предмета добијена одбијањем или преламањем светлости на огледалима или сочивима.

Лупа – сабирно сочиво са малим фокусним растојањем које се користи за добијање увећаног имажинарног лика предмета

М

Магнетисање – процес при коме тело које нема магнетна својства постаје магнетно под дејством спољашњег магнетног поља

Магнетне линије силе – замишљене линије којима се представљају правац и смер магнетног поља

Магнетно поље – физичко поље посредством којег се преноси магнетно узајамно деловање

Магнетно поље Земље – природно магнетно поље које ствара Земља

Магнетно узајамно дејство – привлачно или одбојно дејство између магнета или између проводника кроз које тече струја и магнета

Маса – мера инертности тела

Мензура – провидна цилиндрична посуда са скалом за мерење запремине течности

Механичка енергија – збир кинетичке и потенцијалне енергије једног тела или система

Механички рад (А) – физичка величина која показује колико енергије тело добија или губи при померању за 1 m ако на њега делује сила од 1 N

Механичко дејство – електрична струја изазива кретање делова уређаја, тј. врши механички рад

Међумолекулске силе – силе привлачења или одбијања између молекула у супстанци

Међучестични простор – празан простор између честица у супстанци

Молекул – честица састављена од два или више атома повезаних хемијским везама

Монохроматска светлост – светлост састављена од једне боје

Мрежњача – унутрашњи слој ока на коме се налазе фоторецептори

Муња (гром) – снажно електрично пражњење у атмосфери између облака или између облака и Земље

Н

Наизменична струја – електрична струја чији се смер и јачина периодично мењају

Необновљиви извори енергије – извори који се исцрпљују и не обнављају се за кратко време

Непровидна средина – материјал кроз који светлост не може да прође.

Неутрон – честица у језгру атома

Нормала – замишљена права која је под углом од 90° у односу на површину у тачки у којој упада светлосни зрак

Нормална сила (реакција подлоге) – сила којом подлога делује на тело (под правим углом у односу на подлогу)

Носиоци наелектрисања – честице које су наелектрисане (имају наелектрисање)

Нуклеарна енергија – енергија ослобођена при нуклеарним реакцијама

Њ

Њутн (N) – SI јединица за силу

О

Обновљиви извори енергије – извори који се не престано обнављају у природи

Огледална симетрија – појава код огледала при којој је лик у равном огледалу симетричан предмету и налази се на истом растојању од равни огледала

Одбијање (рефлексја) светлости – појава при којој се светлост враћа у оптичку средину из које упада на границу између две оптичке средине

Одбијени зрак – светлосни зрак после одбијања од граничне површине

Оптичка средина – сваки материјал кроз који се простире светлост

Оптичко влакно – танко стаклено или пластично влакно кроз које се простире светлост, тотално се рефлектујући од његовог омотача

Основне боје – црвена, зелена и плава; њиховим мешањем добијају се изведене боје

Основне физичке величине – седам физичких величина којима се дефинишу све остале физичке величине

Очно сочиво – сабирно сочиво у људском оку

П

Паралелан светлосни сноп – скуп светлосних зрака који се крећу паралелно један са другим

Паскал (Pa) – SI јединица за притисак

Планпаралелна плоча – равно стаклено или пластично тело са паралелним странама

Пластична деформација – деформација после које се тело не враћа у првобитни облик након престанка дејства силе.

Полихроматска светлост – светлост састављена од више боја

Полупроводник – материјал чија је електрична проводљивост између проводника и изолатора

Полусенка – делимично осветљена област око сенке

Правац – права по којој делује сила или се креће тело. Сваки правац има два смера

Праволинијски проводник – прав проводник кроз који тече електрична струја и који око себе ствара магнетно поље у облику концентричних кругова

Праволинијско простирање светлости – светлост се простире праволинијски у хомогеној средини

Преламање (рефракција) светлости – појава при којој светлосни зрак мења правац, смер и брзину при преласку из једне оптичке средине у другу

Преломљени зрак – светлосни зрак који мења правац простирања при преласку из једне оптичке средине у другу

Примарни светлосни извор – тело које самостално емитује светлост

Природа – целокупни материјални свет

Притисак – количник силе и површине на коју сила делује под правим углом

Провидна средина – материјал кроз који светлост може да прође

Проводник – материјал који лако проводи електричну струју

Проводљивост – способност материјала да проводи електричну струју; зависи од броја слободних електрона.

Провођење топлоте (кондукција) – пренос топлоте кроз тело без преноса материје

Протон – позитивно наелектрисана честица у језгру атома

Р

Равно огледало – глатка и равна површина која потпуно одбија светлост

Равнотежни положај – положај тела или честице при коме је збир свих сила које на њега делују једнак нули

Радијални правац – правац који иде дуж радијуса, односно права линија која повезује централну тачку (центар) са неком тачком у простору или на површини

Радијус закривљености (R) – растојање од темена до центра сфере

Расипно (конкавно) сочиво – оптичко сочиво удубљеног облика

Реални лик – лик који се може пројектовати на екран

Референтна раван – замишљена раван која служи као основа за мерење висине, положаја или енергије тела

С

SI – скраћеница за Међународни систем јединица.

Сабирно (конвексно) сочиво – оптичко сочиво испупченог облика

Сабијање – смањење дужине неког материјала или тела када на њега делује сила

Светлосни зрак – замишљена линија која представља правац простирања светлости

Светлосни извор – тело или уређај који емитује светлост

Светлосни сноп – скуп светлосних зрака који се простиру у истом правцу и смеру

Светлосно дејство – појава при којој електрична струја изазива емитовање светлости

Секундарни светлосни извор – тело које не ствара светлост, већ одбија светлост примарног извора

Сенка – тамна област иза непровидног тела

Сила трења – сила која се јавља када су два тела у контакту, при чему се најмање једно тело креће или почиње да се креће под дејством силе

Сила – мера узајамног дејства тела

Скаларне величине – физичке величине које имају само интензитет (бројну вредност)

Слободни електрони – електрони у металима који

нису везани за одређени атом

Смер струје – кретање позитивно наелектрисаних честица од позитивног ка негативном полу батерије

Смер – одређивање ка ком делу једне праве делује сила или се креће тело

Снага (P) – физичка величина која показује извршени рад у јединици времена

Соларна (сунчева) енергија – енергија добијена од Сунчевог зрачења

Спектралне боје – основне боје видљивог светлосног спектра: црвена, наранџаста, жута, зелена, плава, тамноплава и љубичаста

Спектрални филтер – уређај који пропушта само одређену боју светлости, а задржава остале

Специфични топлотни капацитет (с) – количина топлоте потребна да се 1 kg супстанце загреје за 1 °C

Средња брзина – аритметичка средина брзина свих честица у супстанци

Струјање (конвекција) – пренос топлоте кретањем течности или гасова

Струјни удар – пролазак електричне струје кроз људско тело

Струјно коло – затворени круг проводника кроз који тече електрична струја

Супстанца – материја од које су изграђена тела

Суптрактивно мешање – мешање пигментних боја

Сферно огледало – огледало чија је огледална површина део сфере. Може бити испупчено или удубљено

Т

Тачкасти светлосни извор – извор светлости занемарљивих димензија или веома удаљен извор

Тежина тела – сила којом тело делује на хоризонталну подлогу или затеже конач о који је окачено

Теме – тачка на површини огледала у којој главна оптичка оса сече огледало

Температура (t) – физичка величина која показује степен загрејаности тела; мера средње кинетичке енергије честица од којих је тело састављено

Термометар – инструмент за мерење температуре

Течност – агрегатно стање супстанце

Топлота (Q) – енергија која се преноси са једног тела на друго услед разлике у температури

Топлотна енергија – део унутрашње енергије који се преноси са једног тела на друго услед разлике у температури (исто што и топлота)

Топлотна равнотежа – стање у коме тела која су у контакту имају исту температуру и не долази до

размене топлоте

Топлотна размена – процес преноса топлоте између тела или система

Топлотни изолатори – материјали који тешко проводе топлоту

Топлотни проводници – материјали који лако проводе топлоту

Топотно дејство – загревање материјала услед протицања електричне струје кроз њих

Тотална рефлексација – појава при којој се светлост потпуно одбија назад у средину из које је упала на граничну површину, при преласку из средине веће оптичке густине у средину мање оптичке густине

У

Угао одбијања – угао између одбијеног зрака и нормале

Угао преламања – угао између преломљеног зрака и нормале на граничну површину

Удубљено (конкавно) огледало – сферно огледало чија се рефлектујућа површина налази на унутрашњој страни исечка сфере

Узајамно дејство (интеракција) – међусобно дејство два тела

Унутрашња енергија – укупна енергија свих молекула у једном телу (кинетичка и потенцијална)

Упадни зрак – светлосни зрак који пада на површину

Упадни угао – угао између упадног зрака и нормале

Усмерено кретање – кретање честица у једном смеру.

Ф

Фатаморгана – оптичка појава у атмосфери изазвана преламањем светлости у слојевима различите температуре и оптичке густине

Физичко поље – облик материје који посредује у узајамном дејству тела која нису у непосредном контакту

Фокус сочива – тачка на оптичкој оси у којој се после преламања сакупљају светлосни зраци који падају паралелно оптичкој оси код сабирног сочива или у којој се секу продужеци расутих зрака после преламања код растурног сочива

Фокус сферног огледала – тачка на главној оптичкој оси у којој се после одбијања сакупљају светлосни зраци који падају паралелно главној оптичкој оси код удубљеног сферног огледала или у којој се секу продужеци расутих зрака после одбијања код испупченог сферног огледала

Фокусно растојање сочива (f) – растојање од оп-

тичког центра до фокуса сочива

Фокусно растојање сферних огледала (f) – растојање од темена огледала до фокуса сферног огледала

Фоторецептори – ћелије осетљиве на светлост

Х

Хемијска енергија – енергија ускладиштена у хемијским везама молекула

Хемијски елемент – супстанца састављена од истоветних атома

Хемијско дејство – хемијске реакције изазване протицањем електричне струје кроз супстанце

Хомогена средина – средина у којој су различита својства (као што су густина, састав или структура) иста у свим њеним деловима

Хомогено магнетно поље – магнетно поље са истом густином магнетних силница

Ц

Целзијусов степен ($^{\circ}\text{C}$) – јединица температуре на Целзијусовој температурној скали

Целзијусова температурна скала – температурна скала у којој је 0°C температура мржњења воде, а 100°C температура кључања воде

Центар – центар сфере чији је део огледало

Ч

Чврсто тело – има одређен облик и запремину

Честични модел – научни модел који објашњава грађу супстанци постојањем грађевних честица које су у сталном кретању и међусобно узајамно делују

Џ

Џул (J) – SI јединица за енергију; 1 J је рад који изврши сила интензитета 1 N када помери тело за 1 m .

ТЕМА 1: ЕНЕРГИЈА

1.4. Кинетичка енергија

4. Кинетичката енергија на топката е $0,9 \text{ J}$

5. Велосипедист (5 m/s): 1000 J , Велосипедист (10 m/s): 4000 J . Брзината е 2 пати поголема, а енергијата 4 пати поголема.

1.5. Гравитациско потенцијална енергија

4. Масата на телото е 10 kg 5. а) Кутијата е на висина 2 m б) Новата потенцијална енергија е $39,24 \text{ J}$ в) Промената на енергијата е $39,24 \text{ J}$

1.6. Еластична потенцијална енергија

3. Еластичната потенцијална енергија е $0,125 \text{ J}$

4. Еластичната потенцијална енергија е $0,04 \text{ J}$

5. Еластичната потенцијална енергија вториот пат е 4 пати поголема од првиот пат.

1.7. Закон за запазување на механичката енергија

3. Кинетичката енергија е 4000 J

4. Брзината на висина $0,2 \text{ m}$ е приближно $4,10 \text{ m/s}$

5. Брзината што ја има топчето изнесува $4,43 \text{ m/s}$

1.8. Закон за запазување на енергијата

3. Топлинската енергија е $49,05 \text{ m J}$ и зависи од масата (m). По килограм маса, тоа е $49,05 \text{ J/kg}$

4. Во ударот се претвориле околу $1,18 \text{ J}$ во топлина и звук.

5. Брзината на крајот е приближно $5,39 \text{ m/s}$

1.9. Механичка работа

4. Работата што ја извршува силата е 25 J ; Работата на силата на триење е $-2,5 \text{ J}$ 5. а)

Работата на лифто е 2943 J б) Потрошена енергија во форма на топлина е 15057 J

1.10. Моќност и коефициент на корисно дејство

4. Моќноста е $24,5 \text{ W}$ 5. а) Корисна енергија: 2000 J б) Моќност: 200 W в) Загуби: 3000 J

1.11. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ за повторување и утврдување

9. а) 10% од енергијата оди за механичката работа на срцето б) 27 kJ се претвориле во топлина.

10. а) 630 J се рефлектираат б) 63% од примена енергија се рефлектира.

12. Кинетичка енергија: при 40 km/h е $55,6 \text{ kJ}$, при 80 km/h е $222,2 \text{ kJ}$ б) Кинетичката енергија при 80 km/h е 4 пати поголема од онаа при 40 km/h

13. Кинетичката енергија на скијачот се намалила за 2800 J (загуба на енергија)

14. Наклонот на правата е 10 . Масата на телото е 1 kg 16. а) $0,16 \text{ J}$; $0,32 \text{ J}$ б) 2 пати поголема енергија.

17. Кинетичка енергија во точка С е 80 J , а потенцијалната енергија во точка А е 60 J .

18. а) Моќноста е 75 W б) Работата е 45000 J

19. а) Работата е 1060 J б) Моќноста е 177 W в) Потрошената енергија е 1270 J

ТЕМА 2: ВНАТРЕШНА ЕНЕРГИЈА И ТОПЛИНА

2.4. Температура. Температурни скали

3. Температурата е 268,15 K
4. Температурата е $-23,15\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. Разликата во температурите е $17\text{ }^{\circ}\text{C} = 17\text{ K}$

2.5. Топлинско ширење на цврсти тела

4. Должината по загревањето е 1,0012 m (или 1001,2 mm)
5. Прачката се издолжила за 0,01 m = 1 cm

2.7. Топлински промени кај гасовите

2. Волуменот е 4 L
3. Температурата е 566 K (односно $293\text{ }^{\circ}\text{C}$)
4. Притисокот е 360 kPa
5. 1,15 пати

2.8. Промени кај гасовите при константна температура

3. Притисокот е 200 kPa
4. Волуменот е $33,3\text{ cm}^3$
5. Волуменот е 800 mL

2.12. Специфичен топлински капацитет

3. Топлината е 21 000 J
4. Топлината е 55 200 J
5. Промената на температурата е $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

2.13. Топлинска рамнотежа. Закон за запазување на енергијата

4. Температурата е $60\text{ }^{\circ}\text{C}$
5. Специфичниот топлински капацитет е $370\text{ J}/(\text{kg }^{\circ}\text{C})$

2.14. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ за повторување и утврдување

9. Зголемувањето е $10\text{ K} = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$
13. Промената на должината е $0,06\text{ cm} = 0,6\text{ mm}$
14. а) Волуменот по загревањето е $0,0002505\text{ m}^3$ б) Густината се намалува (од 8000 на $7984\text{ kg}/\text{m}^3$), бидејќи масата е иста, а волуменот се зголемува.
17. Волуменот е 1,002 L
18. а) Волуменот е 1,8 L б) Густината се намалила 1.5 пати.
19. а) Притисокот е 266 kPa б) Возењето е безбедно
20. Волуменот е 2 L
21. Притисокот е 320 kPa
25. Намалувањето е 4520 J
31. Масата на коцката е 0,124 kg, промена на температурата е $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, топлинската енергија што ќе се ослободува е приближно 390 J
32. а) 19 000 J топлина б) Внатрешната енергија се намалила за 19 000 J

35. Течноста Б има поголем специфичен топлински капацитет. Тој е 2 пати поголем од оној на течноста А.

36. Специфичниот топлински капацитет на металот е приближно $865 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$

ТЕМА 3: ЕЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗАМ

3.1 Градба на атомот. Електрични полнежи

4. Полнежот содржи 2 елементарни полнежи.

5. Електричниот полнеж е $8 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ (негативен, бидејќи има вишок електрони).

ТЕМА 4. СВЕТЛИНА

4. 5. Сферни огледала

3. Фокусното растојание е 30 cm

4. Радиусот на закривеност е 50 cm.

4. 9. Оптички леќи

3. Фокусното растојание е $-0,1 \text{ m} = -10 \text{ cm}$. Негативниот знак значи дека станува збор за растурна (дивергентна) леќа.

4. Количникот на оптичките јачини е 2:1

4. 14. ПИТАЊА И ЗАДАЦИ за повторување и утврдување

9. Ликот се оддалечил од предметот за 1 m (од 3 m на 4 m)

10. а) 1 m од ученичката б) 4 m од ученичката в) 8 m

21. а) 1 m, собирна леќа б) 4 m, собирна леќа в) -25 cm , растурна леќа г) -10 cm , растурна леќа



Акционарско друштво за издавање уџбеника и наставних средстава
ПРОСВЕТНО ДЕЛО АД Скопје,
ул. „Димитрије Чуповски“ бр. 15

За издавача:
мр Павле Петров, генерални директор

ФИЗИКА ЗА ОСМИ РАЗРЕД ОСНОВНОГ ОБРАЗОВАЊА

Наслов оригинала:
Физика за VIII одделение во основно образование

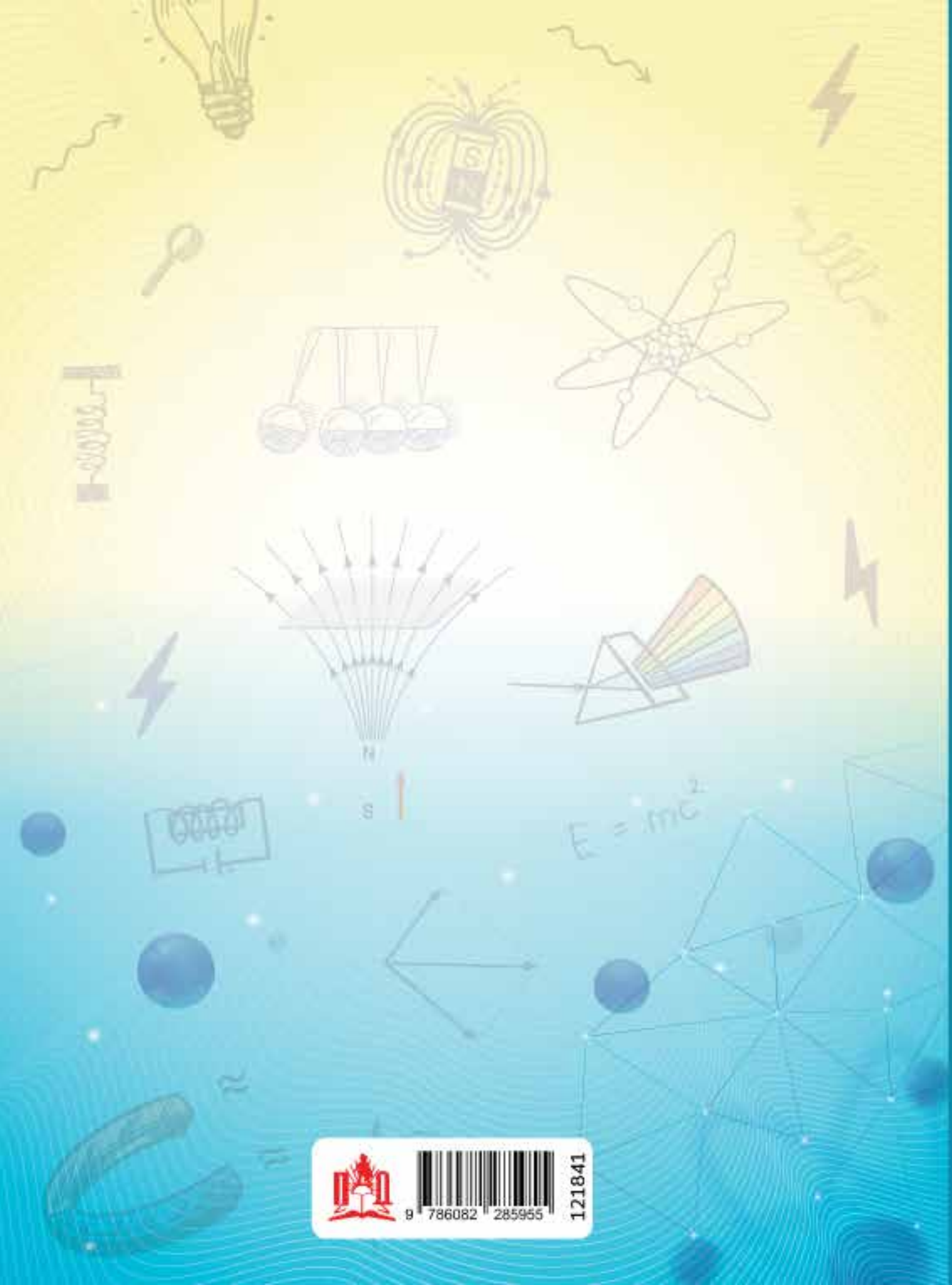
Автори:
проф. др Ламбе Барандовски
мр Вера Зороска

Главни уредник: Весна Дукоска
Лектура и језичко уређивање: Гордана Ацеска
Превод са македонског на српски језик:
ЈЕЗИЧНИ ЦЕНТАР CHALLENGE
Ликовно-графички уредник: Сузана Томовска
Илустрације: Shutterstock и Freepik
Место и година издања: Скопје, 2025.

ISBN: 978-608-228-595-5
Обим: 236 страница
Формат: 200 × 270 mm
Тираж: 54 примерак

Књига је одштампана у штампарији:
ЕВРОПА 92 ДООЕЛ
ул. Крижевска бр. 52, 2300 Кочани

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје
373.3.016:53(075.2)=163.41
БАРАНДОВСКИ, Ламбе
Физика за осми разред основног образовања / Ламбе Барандовски, Вера
Зороска. - Скопје : Просветно дело, 2026. - 233 стр. : илустр. ; 27 см
Индекс појмова: стр. 225-230. - Превод на делото: Физика за VIII
одделение во основно образование
ISBN 978-608-228-595-5
1. Зороска, Вера [автор]
COBISS.MK-ID 69328645



9 786082 285955

121841