

Александар АНДОНОВСКИ Зора МИТРЕСКА Доне ГЕРШАНОВСКИ

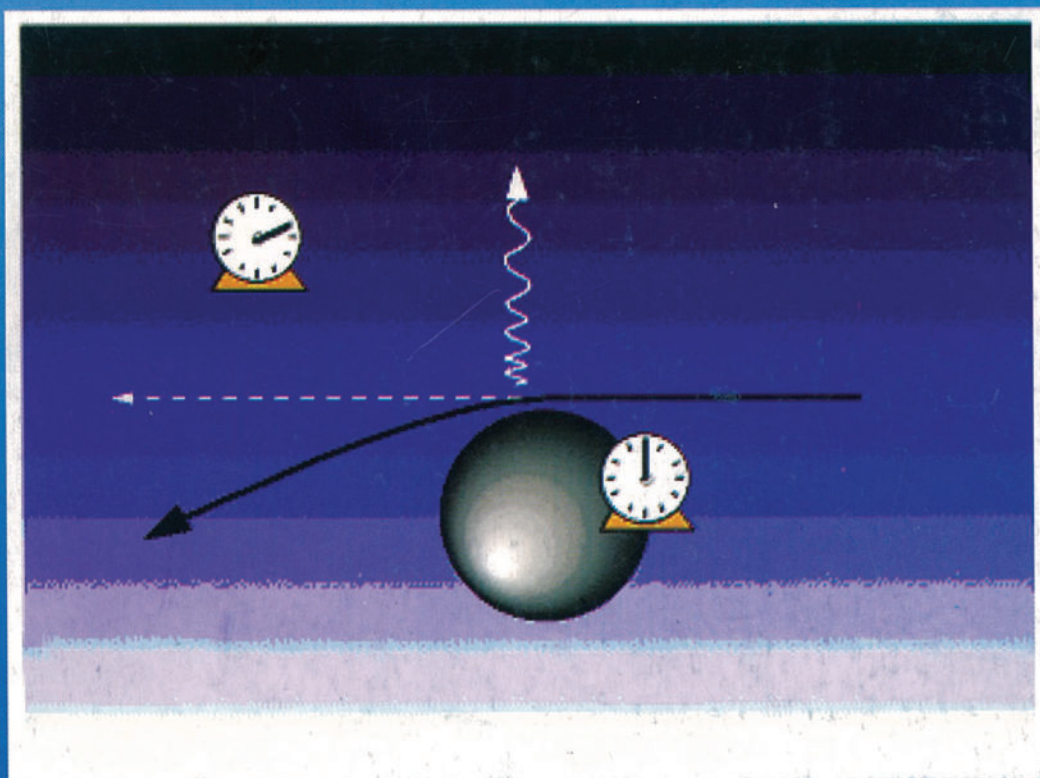
Станоја СТОИМЕНОВ Оливер ЗАЈКОВ

ФИЗИКА

ЗА IV ГОДИНА

ПРИРОДНО МАТЕМАТИЧКО ПОДРАЧЈЕ

КОМБИНАЦИЈА **A**



АЛЕКСАНДАР АНДОНОВСКИ ЗОРА МИТРЕВСКА
ДОНЕ ГЕРШАНОВСКИ СТАНОЈА СТОИМЕНОВ ОЛИВЕР ЗАЈКОВ

ФИЗИКА

ЗА IV ГОДИНА

ПРИРОДНО МАТЕМАТИЧКО ПОДРАЧЈЕ

КОМБИНАЦИЈА А
(ИЗБОРЕН ПРЕДМЕТ)

II издание



ПРОСВЕТНО ДЕЛО АД
СКОПЈЕ, 2018

Уредник

Весна Дукоска

Рецензенти:

Проф. д-р Мирјана ЈОНОСКА, проф. во пензија при ПМФ – Скопје

Олга СЕЈМЕНОВ, професор во ДСУ „Јосип Броз – Тито“ – Скопје

Надица ЃОРЃИВСКА, Дипл. инж. и проф. по Физика ДСУ „Јосип Броз – Тито“ – Скопје

Со решение на Министерот за образование и наука на Република
Македонија бр. 11-6254/1 од 03. 11. 2004 година се одобрува
употребата на овој учебник.

ПРЕДГОВОР

Овој учебник е напишан според Наставната програма по физика за IV година на гимназиското образование (природно-математичко подрачје-комбинација А). Опфатени се сите наставни содржини предвидени со програмата. Заради поуспешно поврзување на изложената материја, на одделни места се направени мали промени во изложувањето на наставните содржини, како и извесни дополнувања коишто сметаме дека не го оптоваруваат основниот текст, а придонесуваат за негово поуспешно совладување.

Предвидената програма е доста опширна и опфаќа шест современи тематски целини: **Теорија на релативност; Ротационо движење на тврдо тело; Од атом до космос; Физика на материјали; Физика и животна средина; Физика на комуникациите**, па и покрај фондот од три часа седмично, сепак беше потребно да се посвети големо внимание на секоја наставна содржина, од наведените тематски целини, да се обработи во доволен обем и на определено ниво. Авторите се трудеа содржините да бидат така изложени за ученикот да ја сфати длабоката суштина и логика на физичките законитости и нивната универзалност. За таа цел е користен математички апарат што, е достапен на учениците од оваа возраст, но и доволно строг за да се увиди големата точност и внатрешната убавина на физичките законитости изразени на математички јазик.

Извесни дообјаснувања на некои физички феномени, методот на нивното откривање и некои други елементи врзани за нив се дадени во деловите означени со  **ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ**. Тие не се задолжителни за сите. Денес кога компјутерите нудат големи можности речиси во секоја лекција на учениците им се нудат соодветни веб страници со може да го прошират своето знаење, да набљудуваат соодветни симулации на појавите. Се надеваме дека сето тоа кај учениците ќе создаде желба за самостојно проучување и запознавање со опишаните ефекти, и подлабоко навлегување во областа што се проучува. Во учебникот се поместени и историски белешки со фотографии и кратки биографии на познатите научници.

При оформувањето на овој учебник авторите се грижеа да ги надминат разликите на стилот на секој автор посебно. Меѓутоа, сепак, одредени делови се авторство на секој од нас. Така, проф. д-р Александар Андоновски ја напиша целосно темата **1. Теорија на релативноста** и деловите: 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; 3.7; 3.8; 3.9; 3.10 од темата **3. Од атом до космос**, како и деловите: 5.3; 5.4; 5.5; 5.6 од темата **5. Физика и животна средина**.

Проф. д-р Зора Митреска ја напиша целосно темата **2. Ротационо движење на тврдо тело**.

Проф. д-р Доне Гершановски ги напиша деловите: 3.11; 3.12; 3.13; 3.14; 3.15; 3.16; 3.17; 3.18; 3.19; 3.20; 3.21; 3.22 од темата **3. Од атом до космос** и деловите: 5.1; 5.2; 5.7; 5.8; 5.9; 5.10 од темата **5. Физика и животна средина**.

Проф. д-р Станоја Стоименов ја напиша целосно темата **4. Физика на материјали**.

Д-р Оливер Зајков ја напиша целосно темата **6. Физика на комуникациите**.

Ни претставува посебно задоволство да ја изразиме својата благодарност на рецензентите: проф. д-р Мирјана Јоноска за темелното прегледување на ракописот и за укажаните пропусти од стручен, методски, технички или јазичен карактер, како и на професорите Олга Сејменов и Надица Георгиевска од гимназијата "Јосип Броз Тито" од Скопје, кои како долгогодишни гимназиски професори, со своите забелешки од стручен и методски карактер, помогнаа текстот да биде приспособен на возраста и разбирањата од учениците. Се разбира, за евентуалните пропусти и недоречености кои во ваков труд, по правило, ги има, одговорноста е исклучиво на авторите.

Од авторите

PROSVETNO DELO

1. ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА

ОСНОВИ НА РЕЛАТИВИСТИЧКАТА МЕХАНИКА

ПРИНЦИП НА РЕЛАТИВНОСТА ВО КЛАСИЧНАТА МЕХАНИКА
ГАЛИЛЕЕВИ ТРАНСФОРМАЦИИ

КЛАСИЧЕН ЗАКОН ЗА СОБИРАЊЕ НА БРЗИНИТЕ
МАЈКЛСОНОВ ЕКСПЕРИМЕНТ

АЈНШТАЈНОВИ ПРИНЦИПИ. ЛОРЕНЦОВИ ТРАНСФОРМАЦИИ

РЕЛАТИВНОСТ НА ЕДНОВРЕМЕНОСТА НА НАСТАНИТЕ

РЕЛАТИВНОСТ НА ВРЕМЕНСКИТЕ ИНТЕРВАЛИ

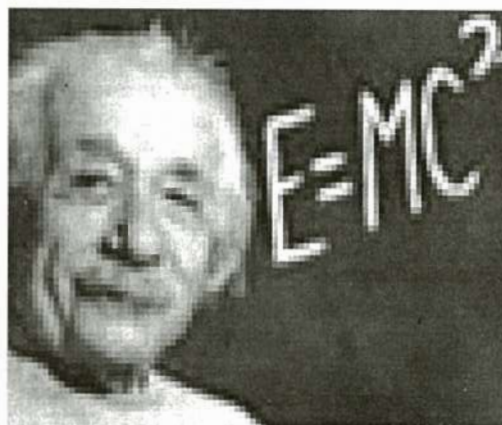
РЕЛАТИВНОСТ НА ДОЛЖИНИТЕ

АЈНШТАЈНОВ ЗАКОН ЗА СОБИРАЊЕ НА БРЗИНИТЕ

МАСАТА ВО СПЕЦИЈАЛНАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА

АЈНШТАЈНОВА РЕЛАЦИЈА ЗА ВРСКАТА МЕЃУ МАСАТА И ЕНЕРГИЈАТА

ОСНОВНИ ПОИМИ ЗА ОПШТАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА



1.1. ОСНОВИ НА РЕЛАТИВИСТИЧКАТА МЕХАНИКА

Сите физички појави и процеси се одвиваат во определен *простор* и траат определено *време*. При нивното проучување основна задача е откривањето на законите на кои им се потчинуваат појавите и процесите, односно утврдување на законите со кои можат точно да се опишуваат промените на материјалните објекти (супстанциите како тела и полињата) на различни места во просторот и во различни временски моменти. Со развојот на науката постепено сознанијата за просторот и времето се менувале, воедначувале и уточнувале.

Во класичната механика се дефинира **апсолутен простор** и **апсолутно време**, т.е. на просторот и времето им се припишуваат такви својства со кои е можно лесно да се опишуваат појавите и процесите, како што се движењата на телата. Некои од најважните сфаќања и претстави за апсолутниот простор и време, при разгледувањето на механичките движења се:

Просторот и времето се независни поими еден од друг.

Просторот со неговите својства постои независно од постоењето на материјата (телата и полињата) и нејзиното движење низ него; просторот е Евклидов - сите геометриски проблеми се решаваат со Евклидовата геометрија; просторот е бескраен, хомоген и изотропен во секоја точка и во сите насоки има исти својства; просторот е непрекинат - околу секоја негова точка има произволен број други блиски точки.

Времето тече само по себе независно од постоењето и движењето на телата; времето неповратно тече во една насока - од минатото преку сегашноста кон иднината; времето е непрекинато - постојат бескрајно мали интервали во секое време; времето е хомогено - во различни моменти својствата на времето се наполно еднакви.

Телата во природата во секој момент заземаат определена положба во просторот. Ако, пак, во текот на времето положбата на некое тело се менува, тогаш велиме дека тоа се движи. Според тоа, за проучување на движе-

њето потребно е определување на положбата, односно местото каде што некое тело се наоѓа. Поради непрекинатоста и хомогеноста на просторот никогаш не сме во состојба да ја определиме положбата само на едно тело во него, бидејќи нема можност неговото место во просторот да го разликуваме од другите места.

Во врска со тоа се воведува **референтно тело**, односно тело за кое условно ќе сметаме дека се наоѓа во некоја нулта положба во просторот и во однос на која, веќе, можеме да го разгледуваме движењето и положбата на другите тела. Референтното тело секогаш се избира така што во однос на него може наједноставно да се определи положбата на набљудуваното тело.

При разгледувањето на движењата на телата на Земјата, како најпогодно референтно тело се зема Земјината површина. Во Сончевиот систем, при изучувањето на движењето на планетите, како референтно тело го избираме Сонцето. Но, при разгледувањето на движењата на телата на Земјата, како референтно тело можеме да го земеме кое и да е тело на Земјата. *Ако ги занемариме димензиите на референтното тело и го сметаме за материјална точка, тогаш добиваме референтна точка.*

Ако референтната точка ја замислиме во координатниот почеток на правоаголниот координатен систем, тогаш добиваме **референтен систем**. Според тоа, условно договорена нулта положба во просторот е координатниот почеток на референтниот систем. Затоа него секогаш го означуваме со нула. Во референтниот систем можеме лесно да ја определиме положбата на дадена точка или тело во просторот или промената на положбата на другите тела. Секогаш можеме да кажеме каде се случило нешто.

Секако, при разгледувањето на појавите и движењата се јавува уште еден проблем. Имено, поради бескрајноста и хомогеноста на времето, никогаш не сме во состојба да разликуваме само еден временски момент, бидејќи сите се еднакви меѓусебно. Тоа практично значи дека не сме во состојба да кажеме кога се случила дадена појава, бидејќи не можеме да го определиме временскиот момент во којшто се случила. За да можеме да, кажеме кога се

случило нешто, потребно е временскиот момент во којшто се случила некоја појава да го сметаме за нулти временски момент. Секој друг момент го определуваме со интервалот на времето што протекува од нултиот до бараниот момент. Како нулти момент, односно како *референтен временски момент* можеме да го фиксираме моментот во којшто се случила некоја позната појава, врз која работи некој апарат. *Секој систем со кој може да се фиксира нулти временски момент и да се мерат различни временски интервали во однос на него, независно од принципот на конструкцијата, се нарекува часовник.*

Врз основа на претходните расудувања за референтниот систем, сега можеме да дадеме поцелосна дефиниција, од онаа која веќе ја знаеме од прва година:

Референтниот систем е неразделна целина од координатен систем и часовник врзани за дадено референтно тело.

Механичките појави и движења секогаш ги разгледуваме само во даден референтен систем и тогаш зборуваме за *релативно движење* и *релативно мирување* на телата. Без референтен систем не сме во состојба да го определиме ниту местото ниту времето, односно не сме во состојба да утврдиме каде се случува некој настан и кога се случува. Врз основа на тоа заклучуваме дека **не постои апсолутно мирување ниту апсолутно движење или дека секое движење и секое мирување е релативно.**



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои се најважните сфаќања за апсолутниот простор и апсолутното време во класичната механика?
2. Што е тоа референтно тело?
3. Како се добива референтна точка?
4. Што е тоа референтен систем?
5. Кој систем се нарекува часовник?
6. Какво е секое мирување и секое движење во природата?
7. Кога набљудувач седи во воз што се движи, за него околните тела, железничката станица, дрвјата и слично се движат. Каде се наоѓа тогаш референтното тело?

1.2. ПРИНЦИП НА РЕЛАТИВНОСТА ВО КЛАСИЧНАТА МЕХАНИКА И ГАЛИЛЕЕВИ ТРАНСФОРМАЦИИ

Секое движење е објективен процес кој реално постои без разлика дали некој го набљудува, проучува или менува. Секое движење протекува во даден простор и време.

Просторот и времето како начин на постоење на материјата не можат да се занемарат, ниту, пак, да се апстрахираат макар и во наједноставните физички проучувања.

Претходно видовме дека секое движење и мирување е релативно, што значи дека може да се разгледува во зададен референтен систем. Така, на пример, движењето на возот можеме да го следиме во однос на железничката станица како референтен систем, на автобусот во однос на автобуската станица или локацијата на некој авион во просторот со радарот се одредува во однос на радарската станица како референтен систем. Притоа набљудувачот механичките појави или движења што протекуваат во зададен референтен систем може да ги следи од истиот систем, но исто така, и од друг систем, кој во однос на првиот систем или се движи или мирува. Двата система можат да бидат *инерцијални или неинерцијални.*

Познато ни е дека **инерцијални** се сите системи за кои важи *првиот Њутонов закон – законот за инерција*. Со други зборови **инерцијален референтен систем** би имале *тогаш кога референтното тело, за кое истиот е врзан, мирува или се движи рамномерно и праволиниски* (како што се движат телата по инерција). Секој друг систем којшто е забрзан или ротира е **неинерцијален**. Ова важи за движење на тела во однос на Земјата што сметаме дека мирува.

Ако во однос на даден референтен координатен систем, дадено тело се движи рамномерно праволиниски или мирува тогаш викаме дека телото е инерцијален систем, а следува и логичен заклучок дека и референтниот координатен систем е инерцијален.

Г. Галилеј тргнувајќи од класичните претстави за просторот и времето, врз основа на визуелни набљудувања и експериментирања, даде важни констатации и релации за протекувањето на механичките појави во различни инерцијални системи.

Најважните Галилееви сознанија за инерцијалните системи се:

Во сите инерцијални системи времето тече подеднакво брзо. Тоа значи дека даден временски интервал измерен во еден систем е еднаков со временскиот интервал измерен во друг систем, ако двата система меѓусебно се однесуваат како инерцијални системи.

Никогааш и со никакви механички обиди не можеме со сигурност да утврдиме кој од два инерцијални системи се наоѓа во состојба на мирување, а кој во движење, односно да утврдиме дали два инерцијални системи (две тела) се наоѓаат во состојба на мирување, или, пак, двајта се движат рамномерно и праволиниски.

Со други зборови кажано:

Сите механички појави и движења како и законите на кои им се покоруваат, еднакво се одвиваат и еднакво важат во сите инерцијални системи. Поради тоа ниту еден од нив нема предност пред друг. Секој од нив може условно да биде земен за неподвижен и искористен за опишување на механичките појави.

Последниот став во науката е познат како **Галилеев принцип на релативноста** или

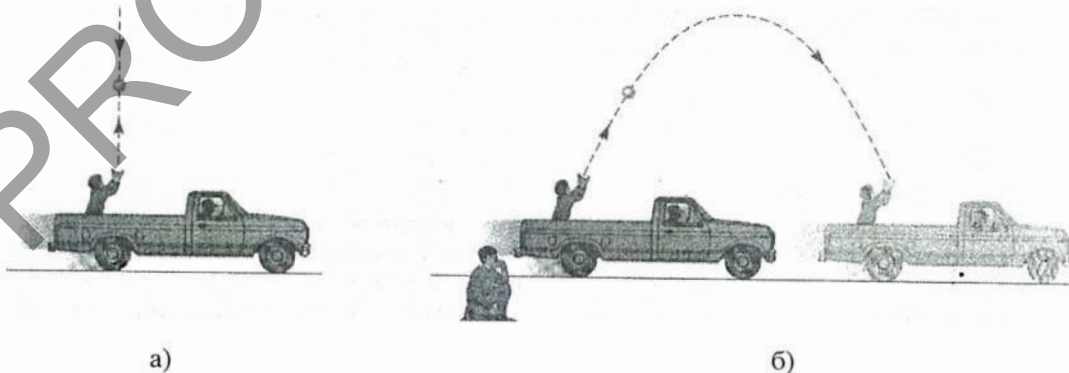
класичен принцип на релативноста. Тој важи само за инерцијалните системи и само за механичките појави.

Вие можете да ја препознаете неговата важност во секојдневниот живот. Претпоставете, патувате со камион по прав пат со постојана брзина. Ако исфрлите топка од висина на главата вертикално нагоре во воздухот, како таа ќе се движи? Таа паѓа право вертикално надолу и удира директно на подот под точката на исфрлање (сл. 1а). Движењето на топката се покажува дека е сосема исто како и во случај ако топката беше исфрлена од човек којшто мирува на Земјата. На овој начин нашиот експеримент со камионот во движење е во согласност со класичниот принцип на релативноста. Со други зборови, законот за гравитација и равенките за движење при константно забрзување се еквивалентни независно од тоа дали камионот мирува или се движи рамномерно и праволиниски.

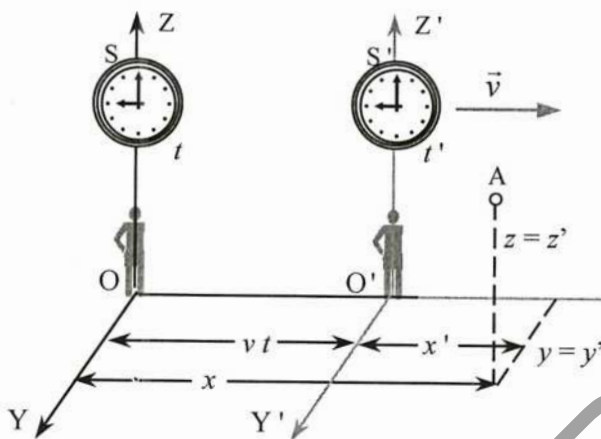
Сега да го земеме истиот експеримент виден од набљудувачот кој стои на Земјата. Овој неподвижен набљудувач гледа дека патот на топката е парабола (сл. 1б).

Понатаму, според овој набљудувач, топката има хоризонтална компонента со брзина еднаква на брзината на камионот.

Иако двата набљудувачи не се слагаат во некои аспекти на експериментот, тие се согласуваат за важењето на Њутновите закони и класичните принципи за запазување на енергијата и запазување на импулсот.



Сл.1. Изгледот на патот на топка исфрлена вертикално нагоре: а) за набљудувачот во подвижниот систем, б) при истиот експеримент за неподвижен набљудувач од Земјата патот на топката е парабола



Сл. 2. Координати на точката A во два референтни системи

Ваквата согласност подразбира дека ниту еден механички експеримент не може да покаже некаква разлика меѓу два инерцијални референтни системи. Само нешто што може да биде забележано е релативното движење на еден систем во однос на друг. Така, поимот за апсолутно движење во просторот е безначаен, како што е безначаен и поимот за привилегиран референтен систем.

Може да заклучиме: иако специфичните закони се различни, ова не го прекршува класичниот принцип на релативност, според кој законите на механиката се исти во сите инерцијални системи.

Да си претпоставиме дека набљудуваме и опишуваме некоја механичка појава, на пример, движењето на дадено тело во просторот, што се наоѓа во инерцијалниот систем S, којшто е неподвижен во однос на нас. Се прашуваме, како ќе ја опише оваа појава набљудувачот, којшто се наоѓа во другиот инерцијален систем S', што се движи во однос на првиот со постојана брзина v и дали постои некаква врска меѓу равенките што го опишуваат движењето на телото во двата спомнати системи?

Инаку кажано, дали е можно, ако се познати равенките што го опишуваат механичкото движење на телото во однос на еден референтен систем, со помош на прости математички претпоставки и трансформации да се добијат равенки што ќе го опишуваат тоа движење во однос на друг систем? Се покажува дека тоа е можно, и равенките, што овоз-

можуваат тоа да се направи, се наречени **Галилеви трансформации**.

Според Галилевиот принцип на релативноста, она што ќе го види и опише набљудувачот од системот S, а се случува во другиот систем S', ќе го види и опише набљудувачот од системот S', а се случува во системот S.

Движењата на телата ги опишуваме, сметајќи ги како материјални точки, со равенки во кои се поврзани величините што ја определуваат положбата и состојбата на истите.

Ако опишувањето еднаш го вршиме во однос на инерцијалниот систем S, а вториот пат во однос на системот S' за сите закони да останат инваријантни (непроменети) во однос на двата инерцијални системи (по Галилевиот принцип на релативноста), потребни се погодни равенки. Нив ќе ги добиеме на следниов начин. Нека двата система S и S' во некој почетен момент $t_0 = 0$ наплно се совпаѓаат. По некое време t системот S', движејќи се со релативна брзина v рамномерно и праволиниски во правецот на X оската, ќе се најде на растојание $OO' = vt$. Во правецот на Y и Z- оската нема поместување, а оските Y и Y', како и Z и Z' остануваат меѓусебно паралелни (сл. 2).

Во моментот на времето t набљудувачот во системот S го опишува настанот во точката A определена со нејзините координати (x, y, z) . Во истиот момент набљудувачот во системот S' за опишување на истиот настан во точката A ги употребува координатите (x', y', z') . Очигледно е дека $y' = y$ и $z = z'$. Промена на големината

на координатите настанува само во правецот на X' оската. Координатата x' , на точката A зависи од времето, бидејќи системот S' се движи со брзина v . Според тоа, како што може да видиме и од сл. 2, овие координати се поврзани со равенките:

$$\begin{aligned}x' &= x - vt' \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= t,\end{aligned}\quad (1)$$

бидејќи времето тече исто $t' = t$.

Ако точката A е неподвижна во системот S' , тогаш нејзините координати во системот S , којшто се движи со константна брзина $-v$ во однос на системот S' (на лево според сл. 2), се изразуваат на следниов начин:

$$\begin{aligned}x &= x' + vt' \\ y &= y' \\ z &= z' \\ t &= t'\end{aligned}\quad (2)$$

Преку трансформационите равенки (1) при опишувањето на механичките појави во системот S преминуваме во системот S' , а со трансформационите равенки (2), обратно. Последното равенство ($t' = t$) покажува дека времето во двата системи тече подеднакво.

Очигледно е дека равенките (1) и (2) се идентични, бидејќи ако од (2) се изразат x' , y' , z' и t' се добиваат равенките (1).

Овие трансформациони равенки се **Галилеевите трансформации**. Тие се, всушност, математичка врска меѓу координатите на дадена материјална точка, со кои е определена нејзината положба во ист временски момент во два инерцијални системи кои меѓусебно се придвижуваат со константна брзина во даден правец. Со други зборови, равенките (1) и (2) го изразуваат претворањето на координатите и времето во класичната механика при преминување од еден во друг инерцијален систем.

Галилеевите трансформации се базираат на два става врз кои е изградена класичната механика:

1. апсолутност на времето;
2. апсолутност на растојанијата во просторот.

Според класичната механика времето тече по еден ист начин во сите инерцијални

системи: часовниците на неподвижниот S и на оној што се движи S' набљудувач покажуваат едно исто време. Апсолутноста на времето се изразува со равенството $t' = t$.

Ако отсечката $OA = x$, $OO' = vt$ и $O'A = x'$, во еден ист инерцијален систем, тогаш равенките (1) очигледно ќе бидат точни.

Реално, $OA = x$ се мери во инерцијалниот систем S , а OO' и $O'A$ – во инерцијалниот систем S' . Следува дека равенките (1) не можат да се добијат без да се искористи ставот дека отсечката има една иста должина во сите инерцијални системи (апсолутност на растојанието).

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кој референтен систем е инерцијален, а кој не?
2. Како тече времето во инерцијалните системи?
3. Како гласи Галилеевиот (класичен) принцип на релативноста?
4. Да се објаснат Галилеевите трансформации. На кои ставови тие се засноваат?
5. Кои се просторно-временските координати за опишување на положбата на некоја точка во која се случува некој механички настан?
6. Дали просторот и времето во класичната механика се меѓусебно независни?
7. Вие сте во затворен вагон, без прозорци, на еден воз што се движи праволиниски со константна брзина по хоризонтална пруга. Дали постои физички експеримент кој може да го направите во вагонот за да определите во која насока се движи возот?



Повеќе информации за Галилеевите трансформации побарајте на следната Интернет адреса или некои слични:

www.dsUPER.net/~tinom/ ph2000/GALILEAN.html
<http://musr.physics.ubs.ca/~jess/hr/skept.html>

1.3. КЛАСИЧЕН ЗАКОН ЗА СОБИРАЊЕ НА БРЗИНИТЕ

Да претпоставиме дека материјалната точка се движи во однос на двата инерцијални системи. Едноставно ќе сметаме дека точката се движи паралелно со оската $O'X'$, со брзина u' во однос на системот S' , кој се движи со брзина v во однос на S . Каква ќе биде притоа нејзината брзина u во однос на неподвижниот систем S ?

Нека во моментот на времето t_1 материјалната точка се наоѓа во положбата A_1 , а во моментот на времето t_2 во положбата A_2 (сл.1). Ако во системот S положбата A_1 има координати $A_1(x_1, y_1, z_1)$, тогаш за координатите на материјалната точка во истата положба во системот S' , согласно Галилеевите трансформации имаме:

$$\begin{aligned} x'_1 &= x_1 - vt_1 \\ y'_1 &= y_1 \\ z'_1 &= z_1 \\ t'_1 &= t_1 \end{aligned} \quad (1) \quad \text{или}$$

Аналогно за координатите на материјалната точка во положбата A_2 во системот S' имаме:

$$\begin{aligned} x'_2 &= x_2 - vt_2 \\ y'_2 &= y_2 \\ z'_2 &= z_2 \\ t'_2 &= t_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Ако од равенките (2) ги извадиме равенките (1) се добива врската меѓу просторните интервали:

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad \text{и} \quad \Delta x' = x'_2 - x'_1$$

и временските интервали:

$\Delta t = t_2 - t_1$ и $\Delta t' = t'_2 - t'_1$, коишто ги разделуваат двата настани измерени во инерцијалните системи S и S' .

Да ги најдеме разликите на вредностите на координатите x'_2 и x'_1 :

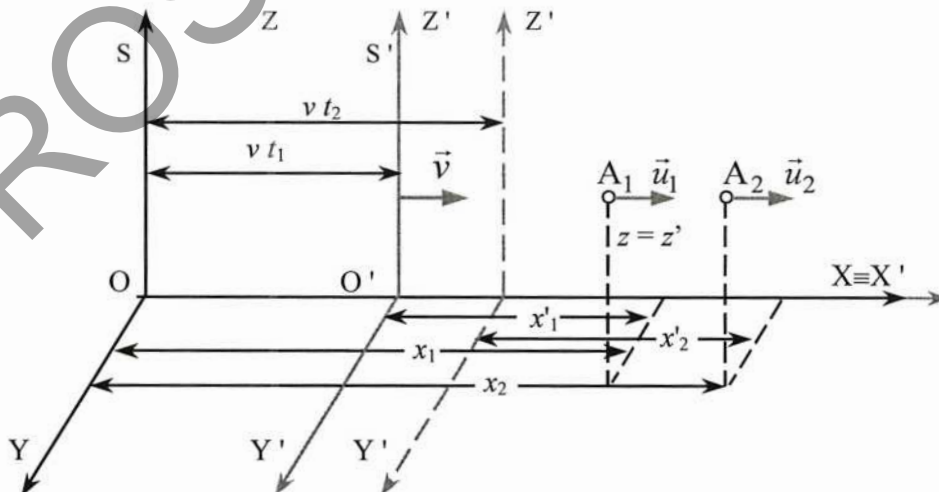
$$x'_2 - x'_1 = x_2 - x_1 - v(t_2 - t_1)$$

$$\Delta x' = \Delta x - v\Delta t \quad (3)$$

$$\Delta t = \Delta t' \quad (4)$$

односно

$$\frac{\Delta x'}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t} - v \quad (5)$$



Сл. 1. Координати на подвижната точка во различни моменти на времето

Со равенката (3) е дадена врската меѓу просторните интервали, а со (4) – меѓу временските интервали. Тие равенки ги изразуваат Галилеевите трансформации при премин од еден инерцијален систем во друг. Бидејќи:

$$\frac{\Delta x'}{\Delta t'} = u' \quad \text{и} \quad \frac{\Delta x}{\Delta t} = u,$$

тогаш,

$$u' = u - v \quad \text{или} \quad u = u' + v \quad (6)$$

Не е тешко да се разбере што станува ако материјалната точка се движи во системот S' во произволен правец со постојана брзина u' , а самиот систем - во произволен правец во однос на системот S со брзина v тогаш за компонентите на брзините долж оските X, Y и Z добиваме:

$$\begin{aligned} u_x &= u'_x + v_x \\ u_y &= u'_y + v_y \\ u_z &= u'_z + v_z \end{aligned} \quad (7)$$

Овде, u_x , u_y и u_z се компонентите на брзините на материјалната точка од положбата A_1 до положбата A_2 , по координатните оски на системот S , а u'_x, u'_y и u'_z - паралелни со координатните оски на системот S' .

Инаку равенката (7) означува дека векторот $\vec{u}$ е еднаков на збирот од векторите $\vec{u}'$ и $\vec{v}$, т.е.

$$\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v} \quad (8)$$

Со равенката (7), односно (8) математички е искажан *законот за собирање на брзините* или *Галилеевиот закон за собирање на брзините* во класичната механика.

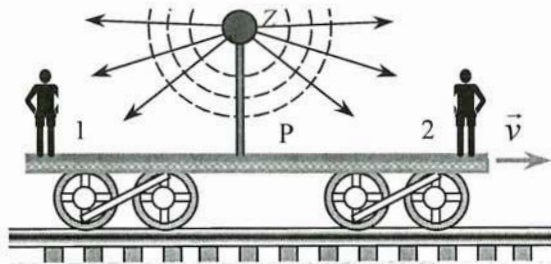
Него можеме да го искажеме со зборови поинаку: **Брзината на дадено тело или материјална точка зависи од големината, правецот и насоката на брзината на системот од којшто се вршат мерењата.** Истиот закон вака може да се искаже: **Брзината на движењето на системот од којшто се врши мерењето влијае на измерената вредност на брзината на телото.**

Класичниот принцип на релативноста, како и класичниот закон за собирање на брзините се однесува и за звучните појави.

Познато е дека звукот како механички бран се распространува со определена брзина u . Со мерење на брзината на звукот од различни системи можеме да ја потврдиме точноста на Галилеевиот закон за собирање на брзините. На пример, нека платформа P се движи со константна брзина v во однос на воздухот, хоризонтално и праволиниски во означената насока (сл. 2).

Во средината на платформата се наоѓа извор на звучни импулси, на пример, звучникот Z . На двата краја се наоѓа по еден набљудувач со стоперка. Во еден момент од звучникот се емитува краткотраен звучен импулс. И двајцата набљудувачи го мерат времето за кое до нив ќе стигне истиот импулс. Набљудувачот 1 на кој звучниот бран му доаѓа во пресрет, ќе измери некое време Δt_1 , а набљудувачот 2, кој бега од звучниот бран, ќе измери подолго време Δt_2 на пристигнување на истиот импулс до него ($\Delta t_2 > \Delta t_1$).

Во првиот случај набљудувачот 1, кој ја мери брзината на звукот во насока на движење на платформата, ќе најде поголема брзина на ширење на звучните бранови отколку вториот, кој ја мери брзината на звукот наспроти насоката на движење на платформата, односно $u_1 > u_2$. Така првиот нашол $u_1 = u + v$, вториот $u_2 = u - v$. Овде u е брзината што ја определиле набљудувачите во неподвижната платформа, како систем во којшто се врши мерењето. Според тоа очигледно е дека брзината со којашто се движи системот во кој се вршат мерењата влијае на измерената вредност на брзината на звукот. Ако, пак, платформата мирува во однос на воздухот ($v=0$), двајцата набљудувачи ќе измерат исто време Δt .



Сл. 2. Брзината на звукот мерена во различни референцни системи

ПРИМЕР 1. Чамец се движи во река со брзина $u' = 10 \text{ km/h}$ во насока на течението на реката чија брзина е $v = 3 \text{ km/h}$. Да се определи брзината на чамецот во однос на брегот и растојанието што ќе го помине чамецот низ водата за време од $0,5 \text{ h}$.

Решение: Брегот е неподвижниот систем S. Водата е подвижниот систем S'. Според релацијата (6) брзината на чамецот во однос на неподвижниот систем – брегот е:

$$u = u' + v = 10 \text{ km/h} + 3 \text{ km/h} = 13 \text{ km/h}$$

Растојанието што ќе го помине чамецот низ реката е $x_2 = ut_2 = 13 \text{ km/h} \cdot 0,5 \text{ h} = 6,5 \text{ km}$

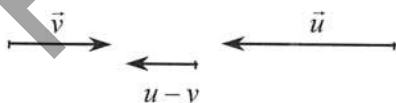
ПРИМЕР 2. Моторен чамец се движи во река која тече со брзина v и тоа: а) по течението на реката, б) спротивно на течението на реката, в) нормално на течението на реката. Моторниот чамец се движи во однос на мирна вода со брзина u . Да се определи брзината на чамецот во трите случаи и да се одговори во кој случај чамецот има максимална, односно минимална брзина.

Решение: Во случаите под а) и б) брзината на чамецот се добива како збир, односно разлика на два колинеарни вектори.

а) по течењето на реката

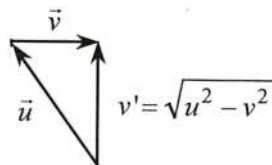


б) спротивно на течењето на реката



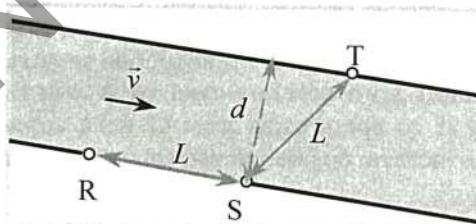
в) во овој случај станува збор за векторско собирање на брзините по правилото на паралелограм, и брзината со која чамецот се движи нормално на течењето на реката е

$$v' = \sqrt{u^2 - v^2}$$



Чамецот има максимална брзина кога се движи по течението на реката, а најмална – наспроти течението на реката.

ПРИМЕР 3. На сликата е дадена река со ширина d којашто тече со постојана брзина $\vec{v}$. Првиот пливач плива од S до R и обратно од R до S паралелно со брегот, а вториот пливач плива од S до T и од T до S нормално на брегот: $|SR| = |RS| = L$. Земајќи дека брзината на секој пливач во однос на водата е еднаква на u , да се определи времето на движење на пливачите: а) по патеката SRS, б) по патеката STS.



Решение: а) $u_{SR} = u - v$; $u_{RS} = u + v$.

$$\text{Времето } t_p = t_{SR} + t_{RS} = \frac{L}{u - v} + \frac{L}{u + v}$$

$$t_p = \frac{2Lu}{u^2 - v^2}$$

б) Течењето на водата го занесува пливачот и наместо од S да исплива нормално на другата страна од брегот и обратно тој мора да го исплива патот ST и обратно TS=L. Во овој случај брзината на пливачот по патеката STS,

во двете насоки, е еднаква на: $\sqrt{u^2 - v^2}$.

Времето на движење според тоа е:

$$t_n = \frac{L}{\sqrt{u^2 - v^2}} + \frac{L}{\sqrt{u^2 - v^2}} = \frac{2L}{\sqrt{u^2 - v^2}}$$



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

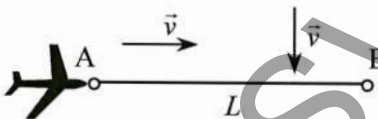
1. Како гласи класичниот закон за собирање на брзините?

2. Како брзината со која се движи системот, во кој се вршат мерењата, влијае на измерената вредност на брзината на звукот?

3. Човек веслајќи со чамец се движи со брзина 5 km/h во мирна вода. Сака да премине река со ширина 1 km, што тече со брзина 3 km/h. а) Под каков агол во однос на брегот треба да го насочи чамецот за да стигне нормално на другиот брег од реката? б) Да се определи брзината на чамецот во однос на брегот. в) Колкаво време му е потребно на човекот со чамецот за да ја премине реката?

(Одговор: а) $\alpha=45^\circ$; б) $u=8$ km/h; в) $t=0,25$ h)

4. Авион лета со брзина u во однос на мирен воздух од точката А до точката В и се враќа. Спореди го времето потребно за летање на авионот кога ветерот дува од А кон В со брзина $\vec{v}$ со времето за летање кога ветерот дува со истата брзина нормално на линијата АВ.



(Одговор: а) $t_p = \frac{2L}{u \left(1 - \frac{v^2}{u^2}\right)}$; б) $t_n = \frac{2L}{u \sqrt{1 - \frac{v^2}{u^2}}}$

$t_p > t_n$.



Повеќе информации за списанија со кои ќе го проширите своето знаење од физика побарајте на Интернет адресата:

<http://www.physicsweb.org>

1.4. МАЈКЛСОНОВ ЕКСПЕРИМЕНТ

Во механиката дојдовме до сознание дека сите механички појави и движења на телата, согласно на Галилеевиот принцип на релативноста, еднакво протекуваат во сите референтни системи, кои во однос на даден инерцијален систем се движат рамномерно и праволиниски. Тоа значи дека во класичната механика секој таков систем можеме да го сметаме како инерцијален.

Како што е познато, појавите во нашиот свет не се само механички, туку и електродинамички, односно и електромагнетни. Научниците од втората половина на XIX век ги интересираше дали за електромагнетните појави важи Галилеевиот принцип на релативноста и класичниот закон за собирање на брзините. Односно, дали и електромагнетните појави протекуваат на ист начин во сите референтни системи кои се движат рамномерно и праволиниски во однос на даден инерцијален систем? Во тоа време станува актуелен и проблемот со *етерот*, кој беше воведен од Х. Хајгенс. Според Х. Хајгенс тој беше замислен како неподвижен еластичен медиум низ кој се пренесуваат светлинските бранови. Средина за пренесување на светлинските бранови не можеше да биде воздухот, бидејќи веќе беше познато дека светлината патува од Сонцето до Земјата скоро низ празен простор. Поради тоа етерот беше постулиран како хипотетична средина. Етерот не беше само транспарентен, но тој се јавуваше како средина полесна во однос на сите дотогаш познати гасови и пареи.

Ако навистина етерот постои и е неподвижен, тогаш движењата на материјалните објекти во однос на него би биле *ајсолути*. Под претпоставка дека етерот апсолутно мирува излегува дека Земјата при своето движење низ вселенскиот простор се движи низ етерот без никакви пречки и не го завлекува со себе. Значи Земјата треба да се движи аналогно на воз низ мирен воздух.

Познато е дека центрипеталното забрзување на Земјата при обиколувањето околу Сонцето е многу мало ($6 \cdot 10^{-3}$ m/s²). Поради тоа

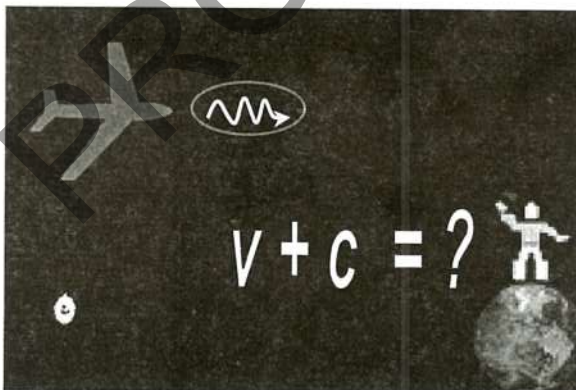
може да се смета дека движењето на Земјата околу Сонцето во мал временски интервал е рамномерно праволиниско. Така, Земјата може да се смета како инерцијален систем, а во таков систем сите механички појави протекуваат како и во системот кој се наоѓа во релативно мирување. Затоа во тоа време се сметало дека движењето на Земјата околу Сонцето во неподвижниот етер може да послужи при решавање на проблемот за можноста на одредување на инерцијалниот систем и на неговата брзина при набљудување од тој систем.

Во последната половина на XIX век Џ.К.Максвел ја презентира теоријата за електромагнетизмот. Тој покажа дека светлината претставува електромагнетен бран. Максвеловите равенки, за разлика од равенките на механиката, не беа инваријантни (непроменети) согласно Галилеевите трансформации.

На пример, од Максвеловата теорија следува дека во вакуум електромагнетните бранови се распространуваат со брзина

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s},$$

каде што ϵ_0 е диелектрична константа во вакуумот и μ_0 магнетска пермеабилност во вакуум. Веднаш произлегло прашањето: во кој референтен систем може да се измери таа брзина? Согласно на класичниот закон на собирање на брзините, брзината на светлината би требало да е различна во различните референтни системи. Тоа може да се илустрира со следниот прост пример (сл. 1).



Сл. 1.

Ракетата што се движи со брзина $\vec{v}$ во однос на Земјата емитува светлински импулс. Брзината на светлинскиот импулс во однос на ракетата (подвижниот инерцијален систем S') ја означуваме со c' .

Во согласност со класичниот закон за собирање на брзините, брзината на светлината за набљудувачот (референтниот систем S) на Земјата е $c = c' + v > c'$. Добиевата вредност е во спротивност со резултатот за константна вредност на брзината на светлината во вакуумот во рамките на експерименталната погрешка на мерењето.

Кон крајот на XIX век се претпоставило дека и електромагнетните бранови и светлината претставуваат бранување на *еџерој* – хипотетичната средина, што го исполнува целиот простор и проникнува во сите тела, без да влијае на нивното движење. Се сметало дека Максвеловите равенки го имаат својот вообичаен изглед само во референтен систем, поврзан со етерот. Тоа значи дека во електродинамиката, за разлика од механиката, би требало да постои привелигиран инерцијален референтен систем којшто се разликува од сите останати. Секако тој референтен систем би бил поврзан со неподвижниот етер. Според тоа, брзината на светлината $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ е само во систем во кој етерот е неподвижен. Се претпоставувало дека во сите други референтни системи коишто се движат во етерот "дува" етерен ветер, односно етерот се движи во нив. Поради тоа Максвеловите равенки се менуваат, па и брзината на светлината е различна.

Земјата при својата ротација околу Сонцето во текот на половина година се движи со брзина v во насока на ширењето на сончевата светлина, а половина година во спротивна насока, т.е. во пресрет на сончевата светлина. Тоа значи дека за набљудувачот од Земјата светлината треба да има различна брзина. Имено, брзината на светлината ќе биде $c - v$ кога Земјата се движи во насока на ширењето на сончевата светлина, а $c + v$ кога се движи во пресрет на ширењето на светлината,

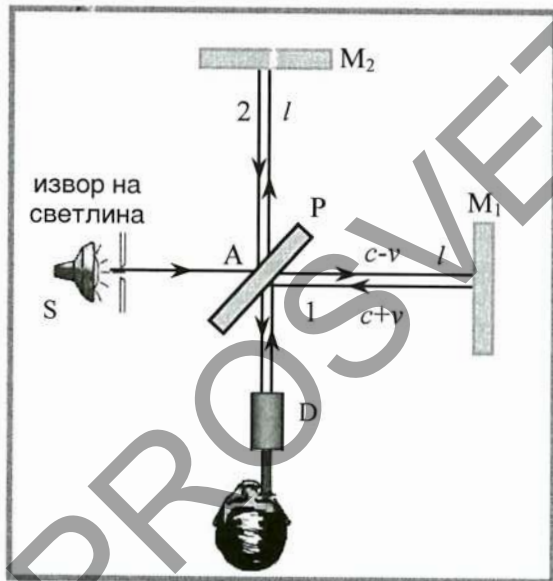
Бидејќи брзината на светлината е $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, а брзината при орбиталното движење на Земјата околу Сонцето е

$v = 3 \cdot 10^4$ m/s, согласно релацијата $c \pm v$ би требало да биде можно во експериментот да се регистрира промена во брзината на светлината приближно $1/10^4$ при мерењата во насока или во пресрет на ширењето на светлината.

Според тоа доколку се утврдила оваа разлика, како што и се очекувало, тогаш би било докажано движењето на Земјата во мирниот етер.

Со таа цел се направени ред на исклучително прецизни, за можностите на тогашната техника, физички експерименти. Секако централно место меѓу нив зазема познатиот Мајклсонов експеримент.

Мајклсон си постави задача да ја измери брзината на апсолутното движење на Земјата во однос на апсолутниот координатен систем, врзан за неподвижниот етер. За таа цел тој го искористи од него конструиранит Мајклсонов интерферометар чијашто принципна шема е прикажана на сликата 2.



Сл. 2. Шема на Мајклсоновиот експеримент

Според сл. 2 кракот 1 на интерферометарот е поставен долж правецот на движење на Земјата во вселената, а кракот 2 е нормален на тој правец. Снопот од монохроматска светлина од изворот S (На лампа) паѓа на полупропусна стаклена плочка P под агол од 45° во интерферометарот. Врз едната страна на плочката P

е нанесен тенок метален слој. Светлината делумно се рефлектира, а делумно поминува преку слојот на плочката P. Така светлинскиот сноп во точката A се дели на два кохерентни дела. По рефлексијата од огледалата M_1 и M_2 , тие повторно се враќаат и преминуваат преку плочката P, а по минувањето низ плочката P се сретнуваат во видното поле на дурбинот D и меѓусебно интерферираат.

Двата крака на интерферометарот имаат еднаква должина l – двете огледала M_1 и M_2 се наоѓаат на сосема еднакво растојание од точката A на плочката P. Ако брзината на светлината е еднаква во сите насоки, двата светлински снопа би го поминале растојанието $2l$ од плочката до огледалата и обратно за еднакво време $t = 2l/c$. Притоа нема да се појави фазна разлика меѓу двата брана.

Бидејќи светлинскиот сноп 1 се шири во правец на движењето на Земјата во етерот околу Сонцето, а светлинскиот сноп 2 во правец нормален на правецот на движењето на Земјата, според класичната физика, би било природно да се очекува дека времињата за кои светлината ќе ги мине соодветните патишта во однос на етерот – во однос на апсолутниот систем да бидат различни. Тоа можело лесно да се пресмета и оптички да се констатира по распоредот на светлите и темните ленти во набљудуваната интерферентна слика во видното поле на дурбинот D. Кога Земјата би мирувала во однос на Сонцето, светлинскиот сноп патот AM_1 во двете насоки ќе го помине со иста брзина c (c – брзина на светлината во вакуум), односно за еднакво време во двете насоки. Но, бидејќи Земјата се движи со брзина v во насоката A кон M_1 , тогаш за брзината на светлинскиот сноп 1 во двете насоки, природно би било да се применат класичните правила за собирање на брзините. Така светлинскиот сноп 1, во насоката на движење на Земјата, растојанието l ќе го помине со брзина $c-v$, а истото растојание (M_1A) по рефлексијата од огледалото M_1 , во насоката спроти движењето на Земјата ќе го помине со брзина $c+v$.

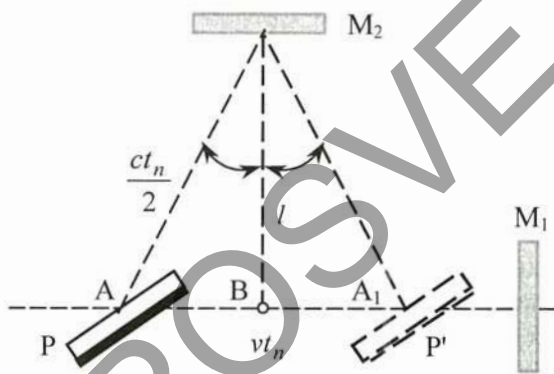
Според тоа, времето за кое светлинскиот сноп од точката A доаѓа до огледалото M_1 , се рефлектира од него и повторно доаѓа во точката A, нема да биде $2t = 2l/c$. Ако ова време, поради паралелност на правецот на

ширењето на светлинскиот сноп со движењето на Земјата го означиме со t_p , тогаш:

$$t_p = \frac{l}{c-v} + \frac{l}{c+v} = \frac{2cl}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)},$$

$$t_p = \frac{2l}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} \quad (1)$$

Да го разгледаме сега светлинскиот сноп 2 (сл. 3), кој тргнува од точката А нормално на правецот на движењето на Земјата и по рефлексијата од огледалото M_2 , се враќа кон набљудувачот. Бидејќи Земјата се движи, светлинскиот сноп 2 ќе падне косо на огледалото M_2 и од него ќе се рефлектира, според законот за рефлексија на светлината. Додека светлинскиот сноп го помине патот AM_2A_1 , плочката Р од интерферометарот, односно Земјата ќе помине пат AA_1 и набљудувачот ќе го прими рефлектираниот светлински сноп во точката A_1 (сл. 3).



Сл. 3.

Ако времето за кое светлинскиот сноп 2 го поминува патот $2l$ (AM_2A_1) нормално на правецот на движењето на Земјата го означиме со t_n , тогаш од правоаголниот триаголник AM_2B (сл. 3) се добива:

$$t_n = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{2l}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2l}{c} \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

Така, разликата во времињата $\Delta t = t_p - t_n$, за кои двата светлински снопа поминуваат еднакви растојанија $2l$ во правец на двата заемно нормални краци на интерферометарот, е:

$$\Delta t = t_p - t_n = \frac{2l}{c} \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-1/2} \right] \quad (3)$$

Во релацијата (3) односот v^2/c^2 има многу мала вредност, од поредок 10^{-8} (за $v = 3 \cdot 10^4$ m/s - брзината на Земјата при орбиталното движење околу Сонцето и за $c = 3 \cdot 10^8$ m/s - брзина на светлината). Земајќи дека $\frac{v^2}{c^2} \ll 1$, двата изрази во средната заграда може да бидат упростени со примена на биномната формула, по исфрлање на сите членови повисоки од втор ред.

Во овој случај од релацијата (3) се добива:

$$\Delta t = t_p - t_n \approx \frac{lv^2}{c^3} \quad (4)$$

Разликата во оптичките патишта Δ на светлинските снопови, во вака поставениот Мајклсонов интерферометар (сл. 2), е:

$$\Delta = AM_1A - AM_2A = c\Delta t = c(t_p - t_n) \quad (5)$$

Значи:

$$\Delta = l \frac{v^2}{c^2} \quad (6)$$

Од релацијата (6) заклучуваме дека појавената разлика во оптичките патишта меѓу двата светлински кохерентни снопови, коишто се добиени од еден ист сноп во полупропусната плочка Р, зависи од брзината на Земјата и растојанието l помеѓу точката А на стаклената плочка Р и огледалата M_1 и M_2 - должината на краците на интерферометарот.

Тоа значи дека за брзина на Земјата $v \neq 0$, односно за $v = 0$ и $v = v$ може да биде определена разликата во оптичките патишта, тогаш и брзината на Земјата да биде опреде-

лена. Но, се разбира, Земјата не може да биде стопирана да не се движи.

Растојанието l при опитите што ги вршел Мајклсон, со неговите соработници, како и други физичари во периодот од 1881-1930 година, изнесувало 1,2 - 32,4 m.

Двата светлински снопа (сл. 2), по разделувањето на упадниот сноп од полупропусната плочка P, како кохерентни светлински бранови се во фаза и од точката A тргнуваат во различни насоки. По враќањето во видното поле на дурбинот формираат интерферентна слика составена од паралелни светли и темни ленти.

Ако сега Мајклсоновиот интерферометар се заврти за 90° , во хоризонтална рамнина, тогаш двата крака од интерферометарот ќе ги заменат своите положби. Во тој случај светлинскиот сноп 2 ќе се шири во правец на движењето на Земјата, а светлинскиот сноп 1 нормално на тој правец. При ова завртување на интерферометарот временската разлика $\Delta t'$ на двата светлински снопа, што поминуваат исто растојание $2l$, останува иста ($\Delta t' = \Delta t$) и е дадена со релацијата (4).

Ова завртување на интерферометарот доведува до поместување на интерферентните ленти, што одговара на иста разлика во оптичките патишта $\Delta = l \frac{v^2}{c^2}$, но сега поместувањето е во спротивната насока. Според тоа, ако ги набљудуваме интерферентните ленти за време на завртување на интерферометарот од еден правец во друг за 90° , ќе го забележиме нивното поместување што одговара на патната разлика:

$$2\Delta = c(2\Delta t) = 2l \frac{v^2}{c^2} \quad (7)$$

Познато е дека растојанието помеѓу две соседни интерферентни ленти одговара на промената на патната разлика за брановата должина на светлината λ . Со односот помеѓу патната разлика Δ , добиена со интерферометарот и брановата должина на светлината λ , ќе биде дадено поместувањето на интерферентната слика за една лента при завртување на интерферометарот од една хоризонтална положба во друга за 90° .

Ако тоа поместување го изразиме преку бројот на интерферентни ленти ΔN што треба да преминат преку центарот на видното поле во дурбинот, тогаш:

$$\Delta N = \frac{2\Delta}{\lambda} = 2 \frac{lv^2}{\lambda c^2} \text{ ленти} \quad (8)$$

ПРИМЕР 1. Во првиот Мајклсонов експеримент во 1881 година, растојанието $l=12,0$ m, брановата должина на натриумовата жолта линија $\lambda=589\text{nm}$, средната брзина на Земјата околу Сонцето $v=3 \cdot 10^4$ m/s. Да се определи патната разлика 2Δ и поместувањето на лентите во интерферентната слика ΔN при завртувањето на интерферометарот за 90°

Решение: По релацијата (7) се добива:

$$2\Delta = 2l \frac{v^2}{c^2} = \frac{2}{(3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2} [12 \text{ m} (3 \cdot 10^4 \text{ m/s})^2] = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

По релацијата (8) се добива:

$$\Delta N = \frac{2\Delta}{\lambda} = 2 \frac{lv^2}{\lambda c^2} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}}{5,89 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 0,40$$

Како што е познато интерферометарот, употребен при Мајклсоновиот експеримент, бил со толкава точност што овозможувал да се регистрираат поместувања на интерферентната слика не помали од 0,01, односно ако $\Delta N > 0,01$.

Значи со Мајклсоновиот интерферометар можело да се мери добиеното поместување ($\Delta N=0,40$). Експериментот покажал дека очекуваното поместување ($\Delta N=0,40$) не се набљудувало. Во целата серија на повторување на опишаниот експеримент, Мајклсон ни еднаш не забележал поместување на интерферентните ленти, според релацијата (8). Тој ни еднаш не го добил очекуваното, дека ќе утврди разлика во брзината на светлината во правецот AM_1A во однос на правецот AM_2A . Тој секогаш добивал негативен резултат во однос на очекуваниот: **не се појавило никакво поместување на интерферентните ленти, односно секогаш добивал резултат дека брзината на светлината во двата правци е еднаква.**

Резултатите од Мајклсоновите експерименти морале да бидат прифатени како

сигурен факт дека не постои разлика во брзината на светлината во различни насоки во системот врзан за Земјата.

Со интерферометриски експерименти во современите лаборатории, аналогни на Мајклсоновиот експеримент, со ласерска светлина и γ -зраци, е утврдено дека брзината на светлината со точност приближно 1 m/s во вакуумот во однос на Земјата е еднаква во кој било правец.

Мајклсон дошол до заклучок дека хипотезата за етерот којшто се наоѓа во мирување е неточна. Според тоа со никакви експерименти на Земјата не би било можно да се утврди нејзиното апсолутно движење во просторот. Мајклсоновите експерименти, иако со негативен резултат, имаат големо значење, главно, заради следниве сознанија:

Дефинитивно е напуштено сфаќањето за постоење на хипотетичниот етер како специјален медиум низ којшто се пренесува енергијата на електромагнетните (светлинските) бранови;

Потврдено е дека не постои апсолутно движење;

На електромагнетните појави не може да се применуваат Галилеевите трансформации ниту класичниот закон за собирање на брзичите;

Брзината на светлината воопшто не зависи од тоа дали за време на нејзиното мерење системот од којшто се мери се движи во однос на светлинскиот извор или не, а ако се движи воопшто нема значење во кој правец тој се движи во однос на правецот на распространувањето на светлината.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Која беше целата и каков е резултатот од Мајклсоновиот експеримент?

2. Зошто беше воведен хипотетичниот етер и на што укажа Мајклсоновиот експеримент?

3. Со колкава точност брзината на светлината во вакуум во однос на Земјата е

еднаква во сите правци врз основа на резултатите од интерференционите опити со ласерска светлина и γ -зраци?

4. Објаснете кое време е пократко ако светлината го минува патот l кога се шири нормално на правецот на движење на набљудувачот (на Земјата) или кога нејзиниот правец на ширење се совпаѓа со правецот на движењето на набљудувачот?

5. Во опитот на Мајклсон и Морли во 1887 година должината на краците од интерферометарот $l = 11 \text{ m}$. За бранова должина на светлината $\lambda = 500 \text{ nm}$ да се определи поместувањето ΔN на интерферентните ленти набљудувани во видното поле на дурбинот.

(Одговор: $\Delta N = 0,44$)

6. Космички брод, којшто се движи во однос на Земјата со брзина $c/10$ (c – брзина на светлината во вакуум), испраќа два светлински сигнали: едниот во насока на движење на бродот, а вториот во спротивна насока.

Колкава е брзината на сигналите определена од набљудувачот на Земјата?

(Одговор: $c_1 = 1,1 c$; $c_2 = 0,9 c$)



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

ПРИМЕР 2. Да се покаже дека светлинскиот сноп го поминува патот $2l$ за пократко време кога се шири нормално на правецот на движењето на Земјата во однос на ширењето паралелно со правецот на движењето на Земјата.

Решение: Во одделните правци на ширење на светлината, времињата за поминување на патот $2l$ се дадени со соодветните релации (1) и (2):

$$t_p = \frac{2l}{c \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)}, \quad t_n = \frac{2l}{c \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Ако во релациите воведеме кратка ознака

$$\alpha = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad \text{се добива } t_p = \frac{2l}{c\alpha^2}, \quad t_n = \frac{2l}{c\alpha}.$$

Бидејќи $v < c$, значи дека $\alpha < 1$. Според тоа односот е

$$\frac{t_n}{t_p} = \alpha; \quad \frac{t_n}{t_p} < 1, \quad t_n < t_p.$$

ПРИМЕР 3. Со користење на биномната формула да се развијат двата члена од релацијата (3) со цел да се добие поедноставната релација (4).

Решение: Релацијата (3) гласи

$$\Delta t = t_p - t_n = \frac{2l}{c} \left[\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1} - \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \right]$$

Биномната формула е:

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm nx + \frac{n(n-1)}{1 \cdot 2} x^2 \pm \frac{n(n-1)(n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} x^3 + \dots$$

Во нашиот случај $x = \frac{v^2}{c^2}$. Бидејќи $c \gg v$ следи

$$\frac{v^2}{c^2} \ll 1. \quad \text{Ако при развојот сите членови}$$

повисоки од втор ред се ифрлаат се добива:

$$\left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1} = 1 + \frac{v^2}{c^2} + \dots; \quad \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} = 1 + \frac{v^2}{2c^2} + \dots$$

Со замена на последните два изрази во релацијата (3) се добива:

$$\Delta t = \frac{2l}{c} \left[\left(1 + \frac{v^2}{c^2} \right) - \left(1 + \frac{v^2}{2c^2} \right) \right] = \frac{lv^2}{c^3}$$



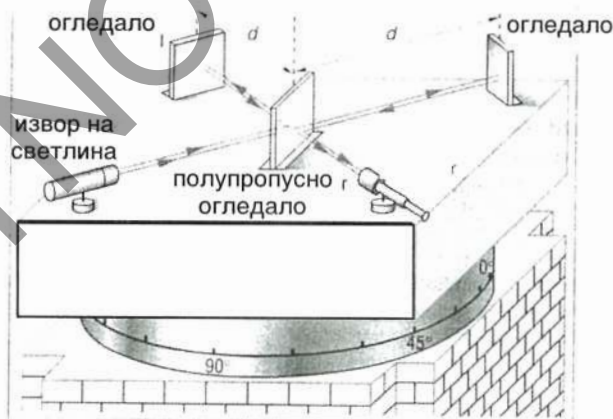
Алберт А. Мајклсон
(Albert A. Michelson)
(1852-1931)



Едвард Морли
(Edward W. Morley)
(1838-1923)

Алберт Мајклсон во 1907 година Нобеловата награда за физика ја подели со Едвард Морли.

Мајклсон и неговите соработници се покажале извонредно способни експериментатори за подобрување на точноста на мерењата. За намалување на осцилациите и искривувањата на краците при завртување на интерферометарот последниот бил монтиран врз масивна квадратна камена плоча со страна 1,5 m. а за намалување на осцилациите од какви било надворешни влијанија кружната основа пливала во сад со жива (сл. 4).



Сл. 4. Изглед на Мајклсоновиот интерферометар

Овој експеримент, значаен за развојот на физиката, за првпат е реализиран од Мајклсон во 1881 година во Берлин, а потоа е повторен со поголема точност од Мајклсон и Морли во 1886 година.



Повеќе информации за Мајклсоновиот експеримент побарајте на Интернет адресата:
<http://www.nobelprize.org>

1. 5. АЈНШТАЈНОВИ ПРИНЦИПИ. ЛОРЕНЦОВИ ТРАНСФОРМАЦИИ

Мајкелсоновиот експеримент дал негативен резултат. Тој резултат, ете, не се слагал со постојната теорија. Имено, тој не го потврдил постоењето на апсолутниот систем, како и тоа дека и за електромагнетните појави треба да важат законите од класичната (Њутнова) механика.

При мерењето на односот e/m за електронот (каде што e - електричниот полнеж на електронот, а m - неговата маса) се покажало дека при голема брзина на движење на електронот, односот e/m се намалува со наголемувањето на брзината. Од гледна точка на класичната механика тоа било несфатливо, доколку електричниот полнеж на електронот e и масата m се должни да останат непроменети, така што тие не зависат од брзината на нивното движење.

За да се објаснат овие противречности потребна била нова теорија, заснована на предуслови различни од оние прифатени во класичната механика. Таа ја создал во почетокот на XX век А. Ајнштајн преку воведување на нови *посулајни*.

Во 1905 година А. Ајнштајн, размислувајќи за потребата од преиспитување на основните сфаќања на класичната физика за својството на просторот и времето, ги предложил следниве два постулати врз кои треба да се темели принципот на релативност:

1. Физичките закони потполно се еднакви во сите инерцијални системи. Со какви било физички експерименти (механички, електрични, оптички) изведени во кој било инерцијален систем невозможно е да се утврди дали тој систем мирува или се движи рамномерно и праволиниски.

2. Брзината на светлината во вакуум c има иста вредност во сите инерцијални системи. Таа не зависи од тоа дали светлинскиот извор или набљудувачот се движат или мируваат.

Првиот постулат е познат како **Ајнштајнов принцип на релативноста**, додека вториот

е познат како **принцип на константност на брзината на светлината**.

Теоријата, создадена од А. Ајнштајн за опишување на појавите во инерцијалните системи, заснована на двата постулати, односно врз Ајнштајновиот принцип на релативноста, е наречена **специјална теорија на релативноста**.

Значењето на првиот постулат е во следното. Сите физички закони (а не само законите од механиката) мора да бидат изразени со такви формули кои имаат иста математичка форма во сите инерцијални системи, независно од тоа дали тие се движат или не еден во однос на друг. Ниту еден инерцијален систем нема никакви предности во однос на другите такви системи, значи **не постои апсолутен инерцијален систем**. Сите инерцијални системи се еквивалентни и меѓусебно рамноправни. Овој Ајнштајнов принцип на релативноста во однос на Галилеевиот принцип на релативноста се разликува по тоа што се однесува на сите природни појави, а не само за механичките.

Првиот Ајнштајнов постулат бара и воведување на нови трансформациони релации, различни од Галилеевите.

Секако вториот Ајнштајнов постулат е директна последица од Мајкелсоновиот експеримент. Таму се претпоставувало дека хипотетичниот етер е единствена материјална средина која се наоѓа во апсолутно мирување во просторот. Но, експериментите покажаа дека сфаќањето за какво било апсолутно мирување, односно движење, веќе, ја губи својата смисла. Според тоа и нема никаква потреба заради брзината на светлината да се воведува привилегиран инерцијален систем. Тоа, пак, значи дека брзината на светлината е иста независно од тоа колкава е брзината на инерцијалниот систем и во која насока тој се движи.

Но, во врска со тоа се поставува следново прашање: Зошто константноста на брзината на светлината во вакуум се зема како **постулат**, кога знаеме дека тоа е експериментално утврдено? Извршените експерименти дале таков резултат во одредени, конкретни услови, што не ја исклучува можноста дека и во некои други, до денес непознати услови, сепак може да се најде дека таа брзина не е константна. Меѓутоа, во теоријата на релативноста се постулира дека **брзината на светлината**

најпа во вакуумот секогаш е константна, независна од какви било услови и еднаква на $c = 299\,792\,458\text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$.

ЛОРЕНЦОВИ ТРАНСФОРМАЦИИ

А. Ајнштајн врз основа на спроведената математичка анализа за природните појави, кои протекуваат во инерцијалните системи, веднаш покажал дека Галилеевите трансформации не одговараат на постулатите од специјалната теорија на релативноста. Тоа значи дека за да бидат задоволени, постулатите на специјалната теорија на релативноста, потребни се други релации за трансформација на координатите и времето при премин од еден во друг инерцијален систем.

Таквите релации, денес познати како **Лоренцови трансформации**, прв ги извл холандскиот физичар Х. Лоренц во 1890 година објаснувајќи некои појави од електромагнетизмот, пред појавата на Ајнштајновата теорија на релативноста. Меѓутоа, Ајнштајн бил тој кој го препознал нивното физичко значење и презел смел чекор за нивно интерпретирање во рамките на теоријата на релативноста.

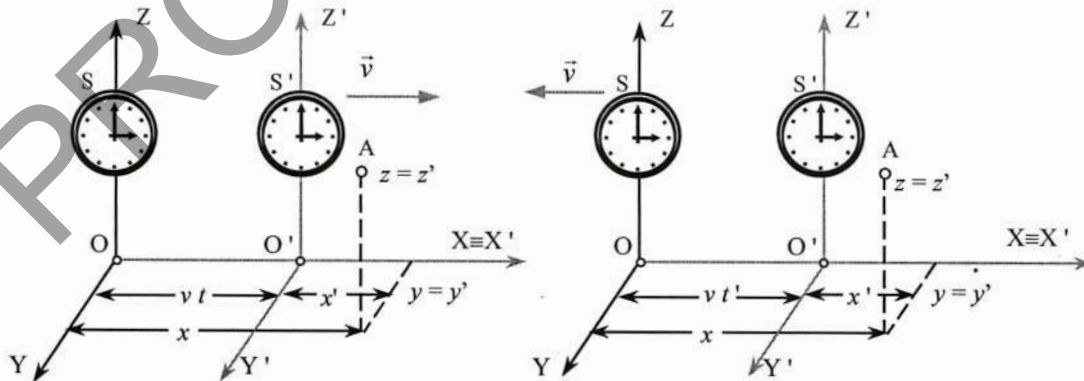
За да ги изведеме овие трансформации ќе разгледаме два инерцијални системи S и S' , кои се движат релативно едни во однос на друг со константна брзина v . Во инерцијалните системи S и S' соодветно правоаголните координатни системи XYZ и $X'Y'Z'$ се поста-

вени така што оските X и X' се совпаѓаат една со друга и со правецот на движењето, а оските Y и Y' , Z и Z' се паралелни (сл. 1). Системот S' со брзина v , релативно на S , се движи во позитивна насока на X - оската, т.е. надесно. Се претпоставува дека во почетниот момент на времето ($t=0$) координатните почетоци O и O' се совпаѓале. Така по некое време t мерено во системот S координатата на точката O' ќе биде vt .

Да разгледаме настан што се случува во точка A со координата $x' = O'A$ во системот S' ; и ја бараме координатата x на таа точка во системот S . Ако набљудувачот е во системот S , во некој момент t (мерен по својот часовник) тој ги забележува положбите на краевите на отсечката $O'A$ - координатите x (за точката A) и vt (за точката O'), тогаш должината на таа отсечка, измерена од системот S ќе биде определена со изразот $(x - vt)$ (види слика 1).

Во класичната механика должината на која било отсечка, не зависи од инерцијалниот систем во којшто таа се мери, и ние би можеле да ги изразиме x' и $(x - vt)$ и на тој начин да добијеме релација од Галилеевите трансформации.

Видовме дека Галилеевите трансформации на координатите не се во согласност со експерименталните резултати за брзини споредливи со брзината на светлината и важат за $0 \leq v < c$. Поради тоа треба да се најдат трансформациони равенки кои ќе важат од $v=0$ до $v=c$.



Сл. 1. Шема кон изведувањето на Лоренцовите трансформации

Од гледна точка на теоријата на релативноста не е можно да се тврди дека должините на отсечката $O'A$, измерени во различни инерцијални системи, се совпаѓаат. Но, сепак, треба во секој случај да бидат пропорционални. Според тоа може да запишеме:

$$x' = k(x - vt'), \quad (1)$$

каде што k е константа на пропорционалноста.

Сега да ги промениме улогите на системот S и S' . Земаме во системот S точка A со произволна координата x . Системот S нека се движи со константна брзина $-v$ во однос S' (во негативна насока на X' -оската, т.е. налево, сл.1). И по некое време t' мерено во системот S' координатата на точката O ќе биде еднаква на $-vt'$. Должината, пак, на отсечката OA во системот S е еднаква на x . Должината на оваа отсечка измерена од набљудувачот во системот S' ќе биде еднаква на $(x' + vt')$ и можеме да сметаме дека:

$$x = k(x' + vt'), \quad (2)$$

каде што k е истата константа на пропорционалноста, бидејќи инерцијалните системи S и S' се потполно рамноправни (во согласност со првиот Ајнштајнов постулат).

За да ја определиме константата на пропорционалноста k ќе го искористиме вториот Ајнштајнов постулат. Нека координатните почетоци O и O' на системот S и S' се поклопуваат ($X \equiv X' \equiv 0$) во моментот кога часовниците во двата системи покажуваат исто време $t = t' = 0$. Во тој момент блеснува сијалица што се наоѓа во неподвижната точка A . Во некој следен момент t (определен во системот S), односно t' (определен во системот S') светлината стигнува до набљудувачот во координатниот почеток на системот S кој е оддалечен за x , и до набљудувачот во координатниот почеток на системот S' - за x' .

Тогаш врз основа на вториот Ајнштајнов постулат ($c=c'$) можеме да запишеме $x=ct$ и $x'=ct'$, кои ги заменуваме во релациите (1) и (2) за x и x' :

$$ct' = k(ct - vt); \quad ct = k(ct' + vt')$$

Со извлекување на времињата пред заграда и множење на овие релации се добива:

$$c^2 tt' = k^2 t t' (c - v)(c + v)$$

или

$$c^2 = k^2 (c^2 - v^2)$$

од каде за константа на пропорционалноста се добива:

$$k = \frac{c}{\pm \sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{c}{\pm \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

Земајќи ја само позитивната вредност за коренот од релацијата (3), конечно имаме:

$$k = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

Со поставување на оваа вредност за k во (1) и (2), ги добиваме релациите за координатите:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5)$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6)$$

Релациите на Лоренцовите трансформации, кои ги поврзуваат времињата t и t' , можеме да ги најдеме на следниов начин. Со делење на левата и десната страна во релацијата (5) со брзината на светлината c , добиваме:

$$\frac{x'}{c} = \frac{\frac{x}{c} - \frac{v}{c}t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{или} \quad t' = \frac{x'}{c} = \frac{t - \frac{v}{c}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Бидејќи $t' = \frac{x'}{c}$, а $t = \frac{x}{c}$, тогаш последната релација можеме да ја запишеме вака:

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (7)$$

Аналогно за t од релацијата (6) добиваме:

$$t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (8)$$

Поради тоа што инерцијалните системи се движат по заедничкиот правец на апсцисните оски, останатите две координати од едниот систем се еднакви со соодветните координати од другиот систем: $Y' = Y$ и $Z' = Z$

Да ги запишеме релациите на Лоренцовите трансформации за рамномерно и праволиниско движење на инерцијалните системи по правецот ОХ:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} & Y' &= Y \\ & & Z' &= Z \end{aligned} \quad t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} & Y &= Y' \\ & & Z &= Z' \end{aligned} \quad t = \frac{t' + \frac{v}{c^2}x'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (10)$$

Во нив x, y, z се координатите на точката во инерцијалниот систем S , во која во временскиот интервал t се случува некоја електромагнетна појава, а x', y', z' - координати на истата точка во системот S' , кој во однос на првиот се движи со брзина v , а истата електромагнетна појава следена од вториот систем се случува во моментот t' .

Видовме дека во класичната механика просторот и времето се меѓусебно независни. Од Лоренцовите трансформации следува дека **просторот и времето треба секогаш да се разгледуваат неразделно поврзани во еден четиридимензионален простор** - временски свет, познат како **свет на Минковски**.

Лоренцовите трансформации овозможуваат сите физички закони за појавите кои протекнуваат во два инерцијални системи кои се движат со брзина v , да се изразат со истоветни релации.

Кај Галилеевите трансформации не постои ограничување на брзината со која се движат инерцијалните системи еден во однос на друг. Брзината може да има најразлични вредности. Но, од Лоренцовите трансформации, поради постоењето на изразот под

дробната црта $\left(\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$, следува дека мора

да постои ограничување. Лоренцовите трансформации имаат физичка смисла само ако изразот под коренот е реален, а тоа е

исполнето ако: $1 - \frac{v^2}{c^2} \geq 0$. Оттука следува дека

за $v=c$ изразот ќе биде нула. Тоа значи горната граница на брзините што може да ги достигне кој било систем е брзината на светлината во вакуум.

Со својата теорија на релативноста А.Ајнштајн внесе нови, проширени сфаќања за просторот и времето и нивните својства, во однос на претставите од класичната (Њутнова) механика, за кои зборувавме во воведниот дел на ова поглавје. Од неговата теорија излегува дека **сè е релативно**: *поимот едновременост има релативен карактер; должината е релативна; масата е релативна*. Сите овие

величини зависат од брзината на движењето на телата на кои припаѓаат. Во класичната механика сите овие величини се константни. А.Ајнштајн со својата теорија на релативноста создаде нова механика позната како **релативистичка механика**, која не ја отфрли класичната механика, туку само ги утврди границите на нејзината примена, односно Галилеевите трансформации се само специјален случај од

Лоренцовите. Ако $v \ll c$ следува дека $\frac{v^2}{c^2} \rightarrow 0$,

па Лоренцовите трансформации преминуваат во Галилееви. Тоа значи дека Лоренцовите трансформации ќе се применуваат на која и да било појава или движење што се извршува со брзина многу блиска до брзината на светлината во вакуум. Во секој друг случај кога $v \ll c$, ќе важат законите на класичната механика.



Х. Лоренц (Hendrik A. Lorentz)
(1853-1928)

Х. Лоренц бил професор на Лајденскиот универзитет. Во 1902 година за истражувањата од областа на магнетните влијанија врз феномените на зрачењето доби Нобелова награда за физика која ја подели со Петар Земан (P. Zeeman).

Посиулаи од латинскиот збор *postulatum* – потреба. Постулатите се користат без докази како основа за создавање научни теории.

Германскиот математичар Х. Минковски прв ја разработил математичката теорија на четиридимензионалниот координатен систем, во кој како четврта координата, покрај трите просторни (x, y, z), се зема времето t .



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како гласи првиот, а како вториот Ајнштајнов постулат и како е наречена теоријата создадена врз основа на тие постулати?
2. Зошто беа воведени Лоренцовите трансформации?
3. Кога Лоренцовите трансформации поминуваат во Галилееви?
4. Која е релативистичка, а која е Њутнова механика?
5. Како треба да се разгледуваат просторот и времето во релативистичката механика?
6. Кој е четиридимензионален координатен систем?



Повеќе информации за Лоренцовите трансформации побарајте на Интернет адресата:

hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/.../ltrans.html

<http://musr.physics.ubs.ca/~jess/hr/skept.html>

1.6. РЕЛАТИВНОСТ НА ЕДНОВРЕМЕНОСТА НА НАСТАНИТЕ

Во класичната механика поимот *едновременост* има *абсолютна* смисла. Тоа значи дека ако два настана, односно две механички појави се случуваат едновременно во еден инерцијален систем, едновременно се случуваат и во секој друг инерцијален систем.

Според Лоренцовите трансформации и времето и просторот се релативни, односно зависат од инерцијалните системи во кои се мерат. Од многубројните и необични последици на релативноста најчудни и најтешко "прифатливи" се оние кои се однесуваат на едновременоста, траењето на настаните и временскиот редослед. Од Лоренцовите трансформации, кои А. Ајнштајн ги зема како основа на својата специјална теорија на релативноста, непосредно следува заклучокот:

Поимот *едновременост на настаните* нема *абсолютна* смисла, а *што* значи дека ако два настана (две појави) се случуваат едновременно во еден инерцијален систем, не се едновремени и во другиот инерцијален систем, освен ако не се случуваат на истото место во просторот. Во точноста на овој заклучок ќе се увериме на следниов начин:

Дека едновременоста на настаните што се случуваат на различни места во просторот има само релативен карактер, А. Ајнштајн нè убедува со неговиот замислен експеримент, познат како Ајнштајнов воз. Еве во што се состои тој: Нека набљудувачот M_1 стои покрај права железничка пруга - системот S , точно на

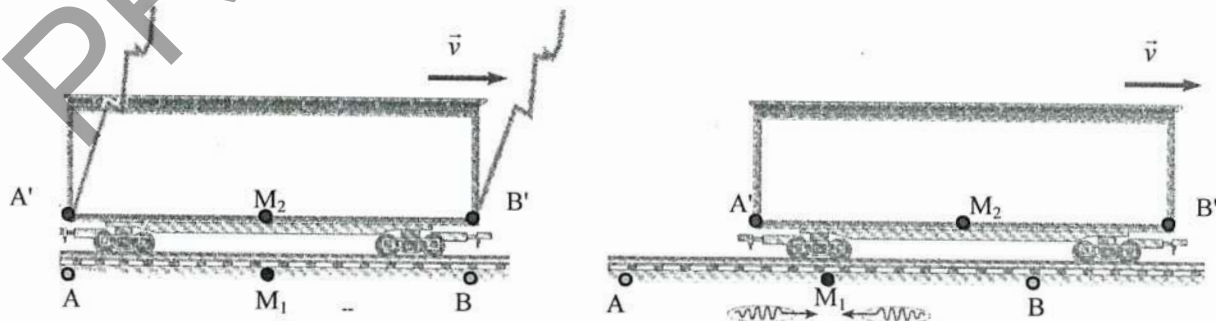
средината лево и десно од него меѓу двете места - точките A и B (сл.1а). Временските услови се такви што во секој момент набљудувачот M_1 очекува да види молња. И навистина, во еден момент во местото A и во местото B се појавува електрична искра (настанува електрично празнење меѓу Земјата и надвиснатите облаци), т.е. се појавува светлински сигнал.

Да претпоставиме сега по пругата да минува воз, со брзина v , со насока од A кон B . Во вагонот на возот - системот S' , се наоѓа набљудувачот M_2 . Нека во временскиот момент кога настанало електричното празнење двете молњи го погодиле вагонот на возот во двата негови краја точките A' и B' (сл. 1а) во тој момент набљудувачот во возот што се движи е во средината меѓу A' и B' , наспроти набљудувачот M_1 - покрај пругата - системот S .

Настаните што ги забележуваат набљудувачите се светлинските сигнали од електричното празнење во местата A и B , односно на краевите A' и B' на вагонот на возот. Двајцата набљудувачи M_1 и M_2 преку систем на огледала може да ги следат настаните во двете места.

А. Ајнштајн претпоставува дека набљудувачот M_1 и двете молњи ги забележува едновременно, бидејќи светлинските сигнали од точките A и B стигнуваат во точката M_1 во исто време (сл. 1б).

Сега земаме како истите настани се видени во вагонот на возот. За набљудувачот што се наоѓа во системот S' кој се движи со брзина v , во однос на системот S , молњите не се јавуваат *едновременно*. За истото време за кое светлинскиот сигнал доаѓа до набљудувачот M_1 , набљудувачот M_2 во подвижниот систем S' вагонот се придвижил, како што е по-



Сл. 1. Ајнштајнов воз (замислен експеримент)

кажано на сл. 1б. Така светлинскиот сигнал од В' веќе заминал покрај набљудувачот М₂, додека светлината од А' уште не стигнала до М₂.

Со други зборови кога набљудувачот М₂, во системот S' заедно со возот се оддалечува од А, а се приближува кон В, разбирливо е дека светлинскиот сигнал (молњата) од А' ќе стигне до неговите очи со задоцнување од неколку делови од секундата, во однос на молњата од В'. Според тоа набљудувачот М₂ заклучува дека молњата удира во предниот крај на вагонот- точката В', пред да удри во задниот крај – точката А'.

Ако претпоставиме дека возот се движи со невозможна брзина $v = c$ во истата насока, набљудувачот М₂ воопшто нема да ја забележи молњата во А, бидејќи возот "бега" пред нејзиниот светлински сигнал со истата брзина. Затоа набљудувачот М₂ од системот S' ќе тврди дека молњата се јавува само кај В. Но, при секоја брзина $v < c$ истиот набљудувач ќе тврди дека секогаш молњата во В порано се јавува. Тоа значи, ако светлинските сигнали се едновремени за набљудувачот М₁ од системот S, не се едновремени и за набљудувачот М₂ од системот S'. Во тоа се состои и релативносќи на едновременосќи на настани.

Да го разгледаме сега проблемот на едновременост со користење на Лоренцовите трансформации. За набљудувачот М₁ од системот S, двете молњи се случуваат во ист временски момент t_0 , на различни места А и В, чии координати се x_1 и x_2 . Во какви временски моменти ќе се појавуваат овие настани за набљудувачот М₂ од системот S'?

Бидејќи тој се движи со брзина v во однос на системот S (пругата), а правецот на пругата се поклопува со X - оската, за него молњата во А, со координата x_1 мерена во системот S ќе се случи во моментот:

$$t_1' = \frac{t_1 - \frac{v}{c^2} x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

За набљудувачот М₂ од системот S', молн ата во местото В со координата x_2 мерена во системот S ќе се случи во моментот:

$$t_2' = \frac{t_2 - \frac{v}{c^2} x_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Се гледа дека t_1' е различно од t_2' бидејќи x_1 е различно од x_2 . Значи, настаните кои се за набљудувачот М₁ едновремени ($t_1 = t_2 = t_0$), за вториот набљудувач М₂ не се едновремени, односно од релацијата (1) и (2) следува дека $t_1' \neq t_2'$. Тоа е така бидејќи во десните страни на горните релации се наоѓаат координатите x_1 и x_2 , а тие во општ случај се различни. Значи и ако $t_1 = t_2 = t_0$, поради $x_1 \neq x_2$ следува дека и $t_1' \neq t_2'$.

Од релациите се гледа дека два настани се едновремени за двајцата набљудувачи само ако се случуваат на исто место во просторот. Имено, тогаш $x_1 = x_2$ и од релацијата:

$$t_2' - t_1' = \frac{(x_1 - x_2) \frac{v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

следува дека $t_2' - t_1' = 0$, т.е. $t_2' = -t_1'$ што значи дека и за набљудувачот М₂ од системот S' се случуваат во ист момент (t_1').

Секојдневното искуство ни покажува дека настаните во текот на времето се "нижат" еден по друг на определен начин. Притоа постои минајќи, сегашносќи и иднина и секогаш може да се утврди дека некој настан му претходи на друг или се случил по него. Но, според специјалната теорија на релативносќи, настаниите коишто се редати по определен редослед за еден набљудувач, можат да имаат друг редослед за друг набљудувач кој се движи во однос на првиот.

Иако едновременскиот и временскиот редослед на настаните можат да бидат различни за набљудувачите кои се движат еден во однос на друг тоа не значи дека сите претстави

од секојдневната пракса се неправилни. Прво, настаните кои се случуваат на исто место можат за сите набљудувачи да бидат едно-времени или да имаат ист временски редослед. Второ, ниту за еден набљудувач времето не "тече" во спротивна насока. Значи редоследот на причината и последицата за даден настан не може да биде променет ниту за еден набљудувач. Ниту за еден од нив последицата не ѝ претходи на причината. Тоа значи дека низа од причински поврзани настани, кои во даден референтен систем се случуваат во последователни моменти $t_1, t_2, t_3, \dots$ ќе бидат забележани во истиот редослед и од страна на сите останати набљудувачи. Меѓутоа, временските интервали (разликата помеѓу два определени моменти) $t_2 - t_1, t_3 - t_2, t_4 - t_3, \dots$ можат да бидат различни за поодделните набљудувачи. Ниту еден набљудувач кој е оддалечен од местото на настанот не може да прими информација за настанот пред набљудувачот кој се наоѓа поблизу до тоа место. Тоа е така бидејќи каков било сигнал не може да се пренесува со брзина која е поголема од брзината на светината, а, пак, брзината на светлината не е бесконечна. *Според тоа на сигналите кои носат информации за кој било настан конечно им е потребно време за да пристигнат.*



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дали поимот едновременост на настаните има апсолутна смисла во специјалната теорија на релативноста?
2. Кога два настана (две појави) се едновремени за двајца набљудувачи?
3. Како нè убедува Ајнштајн за релативниот карактер на едновременоста на настаните што се случуваат на различни места во просторот?
4. Дали според специјалната теорија на релативноста редоследот на настаните останува непроменет за набљудувачите кои се движат еден во однос на друг?

1.7. РЕЛАТИВНОСТ НА ВРЕМЕНСКИТЕ ИНТЕРВАЛИ

Во класичната физика, со примена на Галилеевите трансформации, се добива дека траењето на даден временски интервал се определува со временскиот момент t_1 од кој започнува и временскиот момент t_2 со кој завршува. Временскиот интервал се означува со Δt и е $\Delta t = t_2 - t_1$.

Според специјалната теорија на релативноста набљудувачите од два инерцијални системи, S и S' , кои се движат еден во однос на друг нема да се согласат по прашањето за временскиот интервал, т.е. за времето поминато помеѓу дадени два настани. Во врска со тоа прашуваме: Кој од нив е во право? Колкаво е "реално" поминато време? Одговорот е: во право се двајцата, секој во однос на својот референтен систем, бидејќи "реално поминато време не постои". Во тоа се состои и релативноста на временскиот интервал, односно на времето.

Нека набљудувачите од инерцијалите системи S и S' сакаат да ги споредат резултатите од своите мерења за временскиот интервал кој протекува помеѓу два настана кои во системот S' се случуваат на исто место. Координатата на тоа место е x' . Настаните можат да бидат, на пример, две последователни исфрлања на ракети од лансирна рампа - системот S' кој се движи во однос на S со брзина v по X -оската.

Според часовникот од системот S' првата ракета се исфрла во моментот, t'_1 , а втората - во моментот t'_2 . За набљудувачот од системот S' временскиот интервал помеѓу двете исфрлања $\Delta t' = t'_2 - t'_1$. За набљудувачот од системот S овие настани се случуваат на различни места, бидејќи лансирната рампа - системот S' се придвижува во однос на системот S за времето помеѓу двете исфрлања на ракетите. За него исфрлањето на ракетите било во моментите t_1

и t_2 , кои се различни од t_1' и t_2' , односно во временскиот интервал $\Delta t = t_2 - t_1$.

Од Лоренцовите трансформации се добива:

$$t_1 = \frac{t_1' + \frac{v}{c^2} x_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{и} \quad t_2 = \frac{t_2' + \frac{v}{c^2} x_2'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Настаните во системот S' се случија на исто место во просторот, следува $x_2' = x_1' = x'$ и $x_2' - x_1' = 0'$. Поради тоа, ако од втората релација се извади првата се добива:

$$t_2 - t_1 = \frac{t_2' - t_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (1)$$

и

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Од релацијата (2) следува дека временскиот интервал не е еднаков за двајцата набљудувачи. Набљудувачот од системот S наоѓа дека тој интервал е подолг.

Временскиот интервал $\Delta t'$ меѓу два последователни настани кои се случуваат на исто место во системот S' , којшто се движи со брзина v во однос на системот S , е најкраток и е наречен *интервал на сопственото време*, односно *сопствено време*.

Од релацијата (2) се гледа дека $\Delta t' < \Delta t$, т.е. интервалот на сопственото време за системот S' е помал од временскиот интервал Δt за системот S кој релативно мирува. Тоа значи дека набљудувачите од сите системи, во однос на кои системот S' се движи, со мерење добиваат подолг временски интервал меѓу два исти настани кои се случуваат во нив и во S' .

Како два настани можат да се земат, на пример, две последователни отчукувања на еден часовник "сврзан" со еден референтен систем, кој се движи со определена брзина во

однос на други инерцијални системи за кои условно сметаме дека мируваат. Добиената релација (2) покажува дека набљудувачот од кој било инерцијален систем, во однос на кој часовникот се движи, ќе утврди дека одот (ритамот) на тој часовник е забавен, односно ќе утврди подолг временски интервал меѓу двете отчукувања во споредба со неговиот сосема идентичен часовник.

Поради тоа опишаниот ефект е наречен **релативистичко забавување, релативистичка дилатација на времето**.

Инаку ефектот на релативистичката дилатација на времето вели дека часовниците коишто се движат релативно во однос на кој било набљудувач работаат многу побавно (во споредба со часовниците во мирување).

Овој ефект е непосредна последица на константната брзина на светлината во сите инерцијални системи. Бидејќи тие системи се рамноправни, следува дека за набљудувачот од системот S' забавен ритам ќе имаат часовниците во системот S .

Тоа значи дека **временскиот интервал меѓу два настана нема апсолутен карактер, туку зависи од референтниот систем во којшто се мери**. Во системот S' што се движи со брзина v блиска до брзината на светлината во вакуум c , времето тече побавно, односно временскиот интервал меѓу два настана е подолг од временскиот интервал меѓу истите два настани, мерен од системот S , за кој условно сметаме дека мирува. Ако тоа е така, тогаш во системите што се движат со брзина приближна на брзината на светлината сите процеси што се временски зависни се забавени. Еден од типичните временски зависни природни процеси е раѓањето, растењето, развитокот и стареењето на човекот.

ПРИМЕР 1. Нишалото се движи со брзина $0,95 c$ покрај неподвижен набљудувач. Периодот на нишалото во движење измерен е $3,0 s$. Колкав е периодот на нишалото за неподвижниот набљудувач?

Решение: Периодот T' на нишалото во движење е неговото сопствено време $\Delta t'$.

Подвижното нишалото е пример на подвижен часовник кој работи побавно во однос на неподвижен часовник. Периодот T за неподвижното нишалото е временскиот интервал Δt

измерен од неподвижниот набљудувач со истиот часовник. Според тоа периодот:

$$T = \Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{T'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{0,3 \text{ s}}{\sqrt{1 - \frac{(0,95c)^2}{c^2}}} \\ T = \frac{3,0 \text{ s}}{0,32} = 9,5 \text{ s}.$$

Следува дека $T > T'$. Значи нишањето на подвижното нишало е забавено. За да постигне период еднаков со нишалото во мирување треба да се зголеми неговата должина.

ПРИМЕР 2. Свезда се наоѓа на растојание од Земјата 100 светлински години (100 ly). Вселенски брод се движи со брзина $v=0,6 \text{ c}$; $v=0,8 \text{ c}$; $v=0,99 \text{ c}$. Да се определи: а) времето потребно астронаутот да стигне до свездата, т.е. временскиот интервал Δt ; б) да се процени дали човекот за време на неговиот живот би можел да стигне до свездата.

Решение: $1 \text{ ly} = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 3,15 \cdot 10^8 \text{ s} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}$
 $100 \text{ ly} = 9,5 \cdot 10^{17} \text{ m}.$

а) Според Њутновата механика астронаутот растојанието l до свездата го минува за време Δt со брзина v .

$$1. \quad \Delta t = \frac{l}{v} = \frac{l}{0,6c} = \frac{9,5 \cdot 10^{17} \text{ m}}{0,6c} = 5,28 \cdot 10^9 \text{ s}$$

$$\Delta t = 168 \text{ години}.$$

По релацијата (2) сопственото време Δt_0 на патување на астронаутот до свездата е:

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 168 \sqrt{1 - \frac{0,36c^2}{c^2}} = 134 \text{ год.}$$

$$2. \quad \Delta t = \frac{l}{0,8c} = \frac{9,5 \cdot 10^{17} \text{ m}}{0,8c} = 3,96 \cdot 10^9 \text{ s},$$

$$\Delta t = 126 \text{ год.}$$

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 126 \sqrt{1 - \frac{0,64c^2}{c^2}} = 75,6 \text{ год.}$$

$$3. \quad \Delta t = \frac{l}{v} = \frac{9,5 \cdot 10^{17} \text{ m}}{0,99c} = 3,17 \cdot 10^9 \text{ s}; \Delta t = 1,006 \text{ год.}$$

$$\Delta t_0 = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = 100,6 \sqrt{1 - \frac{0,98c^2}{c^2}} = 4,5 \text{ год.}$$

б) Во наведениот пример најмалку 100 години се потребни само за патување со вселенски брод со брзина $v \approx c$. Според тоа не е можно човекот да стигне до свездата.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Што е сопствено, а што релативистичко време?

2. Дали времето на живеење на космонаутите се скратува или се продолжува од гледна точка на теоријата на релативноста?

3. Кога сопственото време ќе биде еднакво на временскиот интервал за системот кој мирува?

4. Кога одот (ритамот) на еден часовник е забавен?

5. Што е тоа релативистичко забавување, релативистичка дилатација на времето?

6. Во кој систем времето тече бавно: во системот што се движи со брзина v блиска до брзината на светлината во вакуум c или во систем кој условно мирува?

7. Астронаути во вселенски брод патуваат оддалечени од Земјата со брзина $v=0,6 \text{ c}$. На знак од контролната станица тие одмораат еден час. Колку долго трае нивното одморање мерено од Земјата?

(Одговор: $\Delta t' = 1 \text{ h}$; Δt – временски интервал измерен од референтниот систем на Земјата. $\Delta t = 1,25 \Delta t'$. Времето за одмор мерено од Земјата е $1,25 \text{ h}$).

8. Колку пати ќе се зголеми "животот" на една нестабилна елементарна честица ако се движи со брзина $v=0,99 \text{ c}$?

(Одговор: $\Delta t' = 7,1 \Delta t$)

9. Мион се движи со брзина $v=0,95 \text{ c}$. Колкав временски интервал одговара на една секунда од "сопственото време" на мионот?

(Одговор: $\Delta t = 3,2 \text{ s}$)



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

Човечкото срце претставува некаков часовник. Според тоа, во согласност со релативистичката теорија, отчукувањето на човечкото срце би било забавено кога човекот во некој вселенски брод би се движел со брзина блиска со брзината на светлината. Со тоа би се забавило и неговото дишење и сите останати физиолошки процеси. Човекот во бродот нема да го забележи ова забавување, бидејќи во исто време ќе се забави и работата на неговиот часовник. Но, мерено со некој неподвижен мерач на времето тој поспоро би стареел. Така можеме да замислиме некој иден космички истражувач кој во брод со реактивен погон се движи со брзина блиска до c , по 10 Земјини години се враќа на Земјата и утврдува дека остарел само 5 години.

ПРАВИЛО НА АЈНШТАЈН ЗА СИНХРОНИЗИРАЊЕ НА ЧАСОВНИЦИТЕ

Два настана се случуваат во една иста точка во еден систем. Временскиот интервал меѓу нив набљудувачот на самото место го мери со еден часовник. Задачата станува посложена ако настаните се случиле во различни точки А и В во просторот. Проблемот е во тоа што набљудувачот не може едновременно да се најде на местото од двата настана, а треба да добие информација за нив од определено растојание, на пример преку светлински сигнал којшто не се распространува моментално, туку со конечна брзина.

Во зависност од положбата на набљудувачот информацијата за настаните ќе пристигнува до него за различно време, кое тој треба да го забележи пред да направи заклучок за едновременост на настаните.

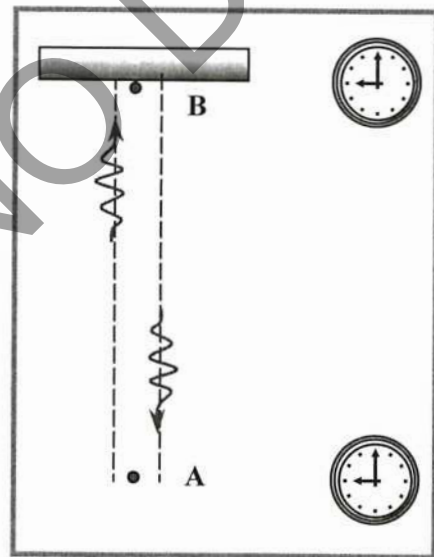
Затоа, место да се мери времето само со еден часовник, на пример, поставен во координатниот почеток на системот, се користат два часовници поставени во точката А и В.

Секако, може да се користи цела мрежа од часовници поставени еден до друг. За да покажуваат единствено време часовниците треба да се синхронизираат.

А. Ајнштајн предложи синхронизацијата на просторно одвоени часовници да се изведе со светлински сигнали.

Нека во точката А и В се поставени еднакви часовници кои се неподвижни во однос на инерцијалниот референтен систем S. Настаните и часовниците се во иста рамнина, нормална на правецот од релативното движење на системот S.

Од точката А во моментот t_1 се пушта светлински сигнал којшто по рефлектирањето од огледалото, поставено во точката В, паѓа повторно во точката А во моментот t_2 .

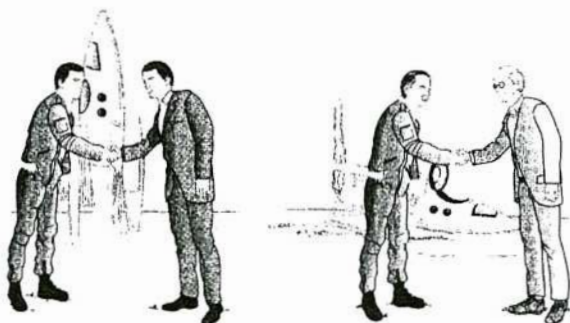


Сл. 1. Синхронизирање на два часовници.

Моментите t_1 и t_2 се мерени со часовникот во точката А. Така, по определувањето на t_1 и t_2 , часовникот во точката В е синхронизиран со тој во точката А, ако во моментот на пристигнување на сигналот во точката В тој покажува време $t = (t_1 + t_2)/2$. На тој начин може да се синхронизираат сите часовници кои се неподвижни во однос на инерцијалниот систем S.

Два просторно раздвоени настани се едновремени во инерцијалниот референтен систем S ако синхронизираниите часовници, поставени во точките каде што се случуваат настаните, покажуваат едно исто време.

ПАРАДОКС НА БЛИЗНАЦИТЕ



Интересна последица од релативистичката дилатација на времето е т.н. парадокс на близнаците. Разгледуваме експеримент во кој учествуваат близнаците Питер и Пол. Тие на возраст од 21 година се способни да управуваат вселенски брод. Пол е посмелиот, и со вселенски брод заминува на херојско патување до планетата X оддалечена 10 светлински години од Земјата. Неговиот вселенски брод е способен за постигнување на брзина $0,500c$ во однос на инерцијалниот систем на неговиот брат близнак на Земјата.

Двајцата близнаци имаат еднакви часовници коишто се синхронизирани. За Питер кој останал на Земјата, Половиот часовник работи поспоро, Половото срце, исто така, работи поспоро, тој мисли поспори и во него сите процеси течат поспоро. Се разбира, тоа Пол не го забележува. Но, по пристигнувањето на планетата X, Пол почнува да патува за родниот крај и веднаш го свртува вселенскиот брод и се враќа на Земјата со истата голема брзина постигната на почетокот на патувањето.

По неговото враќање Пол е потресен што многу нешта се промениле за време на неговото отсуство од Земјата. За Пол многу впечатлива промена којашто се случила е тоа што неговиот брат близнак Питер остарел 40 години и сега има 61 година. Пол, од друга страна, е помлад, и остарел само 34,6 години и сега има 55,6 години.

Овој факт е наречен парадокс иако и тој е само последица на Лоренцовите трансформации. Правниот парадокс е следниот: ако сите инерцијални системи се еквивалентни, тогаш од гледна точка на Пол, кој патува со все-

ленскиот брод, и Земјата со Питер се оддалечува од него со брзина блиска на брзината на светлината само во спротивна насока. Според тоа, Пол би требало да остари, а неговиот брат близнак на Земјата да биде помлад.

За да има симетрија во движењето, би рекле дека единствен можен резултат е и двајцата да бидат на иста возраст кога ќе се сретнат.

Суштината на парадоксот лежи во тоа што овие два система не се еквивалентни. Односно, патувањата во овој случај не се симетрични. Имено, Пол во вселенскиот брод мора да кочи за да ја намали брзината при крајот од патот, да го промени своето движење и да се прати на Земјата во сосема различен инерцијален систем. Во секој случај Пол за време на неговото патување со вселенскиот брод се движи забрзано, односно успорено, така што неговиот систем не е инерцијален. Кога ќе го сврти неговиот вселенски брод Пол ќе го почувствува истото она што во секојдневниот живот го чувствуваме во лифтоот при неговото поаѓање и застанување. Според тоа заклучокот дека Пол не се наоѓа во инерцијален систем е неизбежен. И тој не може да ги применува добиените релации според специјалната теорија на релативноста.

Во овој случај само Питер кој се наоѓа во еден инерцијален систем (Земјата) може да ја применува релацијата за дилатација на времето при патувањето на Пол.

Ако проблемот го анализираме по часовникот на Питер, Пол ќе стигне на планетата X за време:

$$t = \frac{L}{v} = \frac{10 \text{ светлински години}}{0,500c} = 20 \text{ години}$$

1 светлинска година $1\text{ly} = 9,461 \cdot 10^{15} \text{ m}$. Брзина на светлината во вакуум $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Времето потребно за патување и враќање на Пол е $\Delta t = 2t = 40$ години. Според тоа Питер е постар во враќањето на Пол од неговото патување за 40 години. Питер сега има $21 + 40 = 61$ година. По релацијата (2) се добива:

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

од каде со замена за $v = 0,500 c$ и $\Delta t = 40$ години, се добива времето за патување на Пол до планетата X и назад $\Delta t' = 34,6$ години. Така, по враќањето на Земјата, Питер има $21 + 34,6 = 55,6$ години.

3. Конечно нема никаков парадокс, според релациите на специјалната теорија на релативноста, близнакот Пол е оној кој е помлад при повторната средба.

ПРИМЕР 3. За кои вредности на $\beta = v/c$, каде што v -брзина на некоја микрочестица, а c -брзина на светлината во вакуум, сопственото време на микрочестицата се разликува за $k = 10^{-3}, 10^{-2}; 5 \cdot 10^{-1}$ од времето мерено со неподвижен часовник?

Решение: k – релативна промена на времето на микрочестицата

$$k = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\Delta t}$$

$\Delta t'$ – сопствено време на микрочестицата;
 Δt – истиот временски интервал мерен со неподвижен часовник.

Во релацијата (2) поставуваме $\beta = v/c$ и ја заменуваме во релацијата за k и се добива:

$$k = \frac{\Delta t - \Delta t'}{\Delta t} = 1 - \sqrt{1 - \beta^2}$$

Од каде $1 - \beta^2 = (1 - k)^2$;

$$\beta^2 = 2k - k^2; \beta = \sqrt{2k - k^2}$$

За првите два случаја ($k = 10^{-3}, 10^{-2}$) се мали вредности на k , па $\beta \approx \sqrt{2k}$ и $\beta_1 = 0,0447$; $\beta_2 = 0,141$. Третиот случај $\beta_3 = 0,866$,

па брзината на микрочестицата изнесува:

$$v_1 = 0,0447 c; v_2 = 0,141 c \text{ и } v_3 = 0,866 c.$$



Повеќе информации побарајте на Интернет адресата:

<http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/SpecRel/Flash/Simultaneity.html>

1.8. РЕЛАТИВНОСТ НА ДОЛЖИНТЕ

Од Лоренцовите трансформации следува уште еден релативистички ефект. Тој се состои во тоа што набљудувачите од различни системи дабиваат различни резултати при мерењето на должината на дадено тело во правецот на неговото релативно движење.

За да ја определиме должината на дадена прачка (или кое било тело) треба да ги определиме координатите на нејзините крајни точки во ист временски момент. Нека во системот кој релативно мирува S во неговата X-оска е поставена прачка. Ако прачката мирува, координатите на нејзините краеве x_1 и x_2 во системот S не зависат од времето. За неподвижниот набљудувач од системот S должината на прачката е:

$$L_0 = x_2 - x_1 \quad (1)$$

Должината измерена на овој начин претставува *должина на мирување* на прачката. Често се нарекува и *сопствената должина* на прачката и се означува со L_0 .

Нека сега прачката мирува по должината на X'-оската на системот S' кој се движи со брзина v во однос на системот S. Тогаш координатите на краевите на прачката во системот S' се x_1' и x_2' . Во овој случај се поставува прашањето: Како неподвижниот набљудувач може да ја измери должината на прачката што се движи со брзина v во однос на системот S? За да го оствари тоа неподвижниот набљудувач во еден момент, т.е. едновременно ги забележува положбите на координатите на почетокот и крајот на прачката x_1' и x_2' , а потоа го мери растојанието меѓу тие положби L , што претставува должината на прачката во движење во однос на системот кој мирува. Измерената должина на прачката во движење е:

$$L = x_2' - x_1' \quad (2)$$

Ако во релацијата (1) место x_1 и x_2 ги поставиме вредностите што произлегуваат од Лоренцовите трансформации (10, поглавје 1.5.), добиваме:

$$L_0 = x_2 - x_1 = \frac{x_2' + vt_2'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{x_1' + vt_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}};$$

$$L_0 = \frac{x_2' - x_1' + v(t_2' - t_1')}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3)$$

Бидејќи краевите на прачката x_1' и x_2' беа определени едновременно, тогаш $t_2' = t_1'$. Поради тоа од (3) добиваме:

$$L_0 = x_2 - x_1 = \frac{x_2' - x_1'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (4)$$

или

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (5)$$

Според (5) должината на прачката е најголема ($L = L_0$) ако се мери во референтниот систем S , во однос на кој е неподвижна. Во секој друг инерцијален систем S' , кој во однос на референтниот систем S се движи со брзина v , должината L на прачката е покуса од L_0 за

фактор $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$.

Со други зборови колку е поголема брзината со која се движи прачката во однос на кој било референтен систем, толку е помала нејзината должина измерена во тој систем.

Ваквото скусување на должината на прачката во правецот на движењето е наречено *контракција* на должината.

Контракцијата на должината, како и дилатацијата на времето, не се забележува во

секојдневниот живот бидејќи факторот $\sqrt{1 - v^2/c^2}$ во равенката (5) ќе се разликува значително од 1,00 само кога v е многу големо. Во сите други случаи за $v \ll c$ факторот $\sqrt{1 - v^2/c^2} \approx 1$, со тоа и $L = L_0$.

Ако прачката е завртена за 90° , т.е. ако е поставена нормално на X -оската и на правецот на движењето, односно долж Y или Z -оската, тогаш нејзината должина не се променува во однос на L_0 . Значи во двата системи ќе биде измерена иста должина, бидејќи $Y' = Y$ и $Z' = Z$.

Според тоа, при мерењето на димензиите на телото што се движи се покажува дека настанува контракција само на димензијата на телото по насоката на движењето на инерцијалните системи. Ако станува збор за мерење на волуменот на дадено тело што се движи со брзина v во однос на референтниот систем S , тогаш тој ќе има вредност:

$$V = V_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (6)$$

каде што V_0 е сопствениот волумен на телото, измерен во системот во однос на кој тоа мирува (во однос на референтниот систем S).

Затоа можеме да заклучиме дека: **Ограничениот простор, што го зафаќа секое тело, како дел од бескрајниот простор, е релативен и зависи од брзината на движењето v на телото.**

Исто така, и формата на тој простор е релативна и зависи од брзината.

ПРИМЕР 1. Астронаут патува со космички брод до Сириус, оддалечен 8 ly од Земјата. Астронаутот го мери времето и по него патувањето до Сириус би требало да трае 6 години. Космичкиот брод се движи со константна брзина $v=0,8 c$. Дали може растојание од 8 ly да биде поминато за време од 6 години мерено од астронаутот?

Решение: 8 ly е растојанието од Земјата до Сириус измерено од набљудувач за кого тие се неподвижни. Растојанието за набљудувачот од Земјата до Сириус е $L_0 = v\Delta t$ (Δt -времето потребно за минување на растојанието $L_0=8ly$).

Астронаутот ја гледа Сириус приближувајќи се кон неа со брзина $0,8c$, но тој, исто така, забележува дека растојанието се скратува. Астронаутот мери помало време – "сопствено време" $\Delta t'$, а со тоа и помало растојание $L = v \Delta t'$.

Од релацијата (2, поглавје 1.7), "сопственото време" на астронаутот во космичкиот брод е:

$$\Delta t' = \Delta t \sqrt{1 - v^2 / c^2};$$

$$L = v \Delta t' = v \Delta t \sqrt{1 - v^2 / c^2} = v \frac{L_0}{v} \sqrt{1 - v^2 / c^2};$$

$$L = L_0 \sqrt{1 - v^2 / c^2} = 8 \text{ ly} \sqrt{1 - (0,8)^2} = 5 \text{ ly}$$

Така, времето за патување мерено со часовникот на астронаутот е

$$t = \frac{L}{v} = \frac{5 \text{ ly}}{0,8c} = \frac{5 \cdot 9,5 \cdot 10^{15} \text{ m}}{0,8 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}} = 6 \text{ год.}$$

ПРИМЕР 2. Правоаголна уметничка слика има висина $1,00 \text{ m}$ и должина $1,50 \text{ m}$. Обесена е на една страна во вселенскиот брод којшто се движи покрај Земјата со брзина $v=0,90c$.

а) Какви се димензиите на сликата за капетанот од вселенскиот брод?

б) Какви се димензиите на сликата видени од набљудувачот од Земјата?



Решение: а) Сликата изгледа сосема нормално за секој од бродот, така и капетанот ја гледа со димензии $1,00 \text{ m} \times 1,50 \text{ m}$.

б) Само димензијата на сликата во правецот на движењето е скратена. Таа изнесува:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = (1,50 \text{ m}) \sqrt{1 - (0,90)^2} = 0,65 \text{ m}$$

Така сликата има димензии $1,00 \text{ m} \times 0,65 \text{ m}$ за набљудувачот од Земјата.

ПРИМЕР 3. Со колкава брзина треба да се движи прачка во правец на нејзината оска за да се намали нејзината должина за 50% во однос на некој неподвижен референтен систем?

Решение: L_0 – должина на прачката во мирување; $L=50\%$ $L_0=0,5L_0$ – должина на прачката во движење.

Од релацијата (5) се добива:

$$L^2 = L_0^2 \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) = L_0^2 (1 - \beta^2); \quad \beta = \frac{v}{c};$$

$$(0,5L_0)^2 = L_0^2 (1 - \beta^2); \quad 0,25 = 1 - \beta^2;$$

$$\beta^2 = 1 - 0,25 = 0,75; \quad v = c\sqrt{0,75} = 0,8c.$$



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Која е "сопствената должина" на прачка?

2. Колкава е релативистичката должина на прачката? Што е тоа контракција на должината?

3. За кој фактор должината на прачката е покуса при движење и мирување на референтниот систем?

4. Дали на телото што се движи настанува контракција на неговите димензии нормални на насоката на движење на референтниот систем?

5. Каков е ограничениот простор што го зафаќа секое тело и од што зависи?

6. Каква е формата на тој простор и од што зависи?

7. Слика има форма на квадрат со основа $d_0 = 5 \text{ km}$. Каква форма и колкава големина ќе има сликата за астронаут во космички брод кој во однос на сликата се движи со брзина $2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ и тоа паралелно со основата на сликата?

(Одговор: Правоаголник со основа $3,73 \text{ km}$ и висина 5 km)

8. Вселенски брод има должина 120 m кога мирува во однос на набљудувач. Ако вселенскиот брод лета покрај набљудувачот со брзина: а) $v = 0,99 c$; б) $v = 0,1 c$ колкава должина на вселенскиот брод ќе измери набљудувачот?

(Одговор: а) $L = 17 \text{ m}$; б) $L = 119,9 \text{ m}$).

9. Објасни како формулите за контракција на должината и дилатација на времето треба да бидат применети за да се покаже дека c е гранична брзина во универзумот.



Повеќе информации за списанија со кои ќе го проширите своето знаење од физика побарајте на Интернет адресата:

<http://www.physicsweb.org>

1.9. АЈНШТАЈНОВ ЗАКОН ЗА СОБИРАЊЕ НА БРЗИНИТЕ

Галилеевиот закон за собирање на брзините во класичната механика се засновува на сфаќањето дека времето и просторот се апсолутни и независни од инерцијалниот систем во којшто се мерат. Така, Галилеевиот закон за собирање на брзините применет на оптичките појави дава резултати кои се противречни на експерименталните факти и директните набљудувања. А. Ајнштајн тргнувајќи од Лоренцовите трансформации изведе друга релација за собирање на брзините, која одлично се сложува со принципот на релативноста и експерименталните факти. Тоа е позната **Ајнштајнова равенка за собирање на брзините**.

Да претпоставиме дека два инерцијални системи S' и S се движат еден во однос на друг со брзина v .

Како и порано за инерцијалните системи избираме координатни системи - $X'Y'Z'$ за S' и XYZ за S , така што оските X' и X се совпаѓаат една со друга и со правецот на релативното движење на инерцијалните системи. Притоа Y и Y' , односно Z и Z' остануваат паралелни една на друга.

Нека сега во системот S' долж X' оската се движи точка со брзина u' во однос на системот S . Во временските моменти t'_1 и t'_2 мерени во системот S' положбите на точката ќе бидат определени со соодветните координати x'_1 и x'_2 . Брзината на точката во системот S' ќе биде:

$$u' = \frac{\Delta x'}{\Delta t'} = \frac{x'_2 - x'_1}{t'_2 - t'_1} \quad (1)$$

Во временските моменти t_1 и t_2 мерени во системот S положбите на точката ќе бидат определени со соодветните координати x_1 и x_2 мерени од системот S , кој релативно мирува во однос на S' . Брзината u на точката определена од системот S ќе биде:

$$u = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Со користење на Лоренцовите трансформации (9) и (10) од поглавје 1.5, можеме да ја најдеме врската меѓу брзините v , u и u' .

Со воведувањето на изразите за координатите x_1 и x_2 и за временските моменти t_1 и t_2 , согласно на Лоренцовите трансформации (10), во релацијата (2), по сменувањето се добива:

$$\frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{x'_2 - x'_1 + v(t'_2 - t'_1)}{t'_2 - t'_1 + \frac{v}{c^2}(x'_2 - x'_1)} \quad (3)$$

По делењето на броителот и именителот од десната страна на (3) со $(t'_2 - t'_1)$, согласно на (1) и (2), се добива:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}} \quad (4)$$

Со (4) е дадена **Ајнштајновата равенка за собирање на брзините**.

Ако брзината на телото u' е во спротивна насока од брзината v на системот S' , тогаш во оваа формула таа се зема со знак минус.

Кога се дадени u и v , брзината u' се пресметува по релацијата:

$$u' = \frac{u - v}{1 - \frac{vu}{c^2}} \quad (5)$$

која се добива на истиот начин како и релацијата (4) за пресметнување на u .

Како што гледаме од релацијата (4) резултатнијата брзина не се состои од едноставно собирање на две брзини, туку таа е кори-

гирана со факторот $\left(1 + \frac{vu'}{c^2}\right)$ кој се јавува како именител.

Да укажеме на некои интересни резултати од овој закон за собирање на брзините. Нека претпоставиме дека брзината на еден предмет во вселенскиот брод $u' = c/2$, а, исто така, $v = c/2$. Тогаш предметот гледан од Земјата се движи со брзина:

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{vu'}{c^2}} = \frac{\frac{c}{2} + \frac{c}{2}}{1 + \frac{1}{4}} = \frac{4}{5}c \quad (6)$$

И ова е еден интересен парадокс, така по теоријата на релативноста "една половина" и "една половина" не даваат "едно цело", туку "4/5".

Ако брзините v , u' и u се мали во споредба со брзината на светлината c , тогаш релацијата (4) на релативистичкиот закон за собирање на брзините преминува во соодветна релација на класичниот закон за собирање на брзините.

Движењата со мали брзини со голема точност се опишуваат во класичната механика. Брзините кои се споредливи со брзината на светлината во вакуум се наречени релативистички брзини. Движењата со релативистички брзини се изучуваат во релативистичката механика.

Да го разгледаме сега граничниот случај. Имено, нека набљудувачот од Земјата (системот S) ја мери брзината на светлината од извор кој се движи во системот S' . Во однос на системот S' изворот мирува, брзината на светлинскиот сигнал е c , значи $u' = c$. Тогаш брзината на светлинскиот сигнал u мерена од Земјата е:

$$u = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = c \frac{c + v}{c + v} = c \quad (7)$$

Значи брзината на светлината за набљудувачот од системот S е иста како и за набљудувачот од системот S' независно од големината на нивната релативна брзина v , а тоа е во согласност со вториот постулат на специјалната теорија на релативноста за постојаност на брзината на светлината во сите инерцијални системи. Со други зборови, Ајнштајновиот

(релативистичкиот) закон за собирање на брзините, равенка (4), е во согласност со принципот за инваријантност на брзината на светлината.

Овде ќе забележиме дека u ќе биде еднаква на c , ако брзината на релативното движење на два системи е сосема блиска на c (т.е. при $v=c$). Тоа го потврдува фактот дека според релативистичката теорија при **собирањето на какви било брзини добиениот резултат не може да биде над брзината на светлината во вакуум c** .

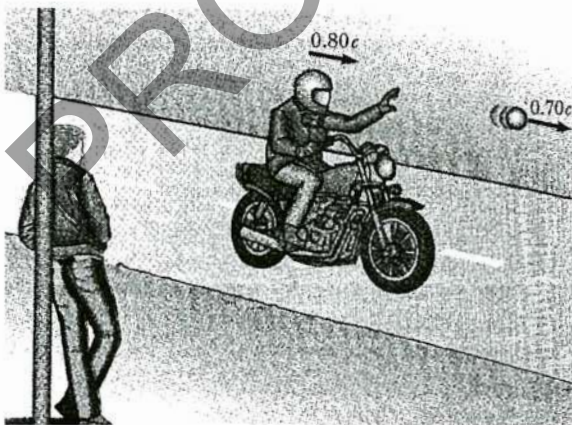
Треба да се забележи дека брзината на светлината во вакуум е гранична брзина, која што не може да биде надмината. Брзината на светлината во која било друга средина, еднаква на c/n (каде што n - апсолутниот индекс на прекршување на светлината во таа средина) и таа не претпоставува гранична величина, бидејќи секогаш $n > 1$, $c_{sr} < c$.

ПРИМЕР 1. Да претпоставиме дека моторист се движи со брзина $v=0,80\ c$ покрај неподвижен набљудувач (сл. 1).

а) Мотористот фрла топка во правец на движењето, во насока на Х-оската, со брзина $u_x' = 0,70c$ во однос на него. Колкава е брзината на топката во однос на неподвижниот набљудувач?

б) Мотористот го вклучува светлинскиот сигнал така што светлинскиот зрак се оддалечува пред него со брзина c во истиот правец.

Колкава е брзината на светлината измерена од неподвижниот набљудувач?



Сл. 1.

Решение: а) Во овој случај $v=0,80\ c$ е брзина на мотористот во однос на неподвижниот набљудувач. $u_x' = 0,70c$ е брзината на топката во подвижниот референтен систем (мотористот). Брзината u_x на топката во однос на неподвижниот набљудувач, по релацијата (4) е:

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{vu_x'}{c^2}} = \frac{0,70c + 0,80c}{1 + \frac{(0,70c) \cdot (0,80c)}{c^2}}$$

$$u_x = 0,96c$$

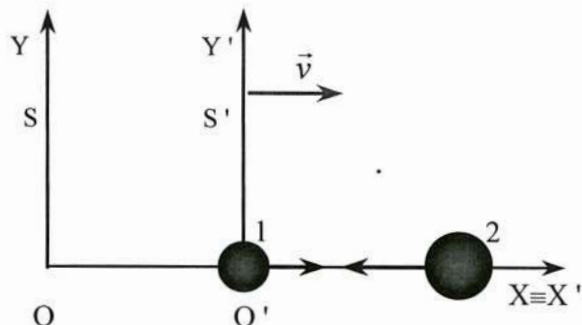
б) Во горната равенка сега $u_x' = c$ - брзината на светлината во подвижниот референтен систем (мотористот). Брзината на светлината за неподвижниот набљудувач (во неподвижниот референтен систем) според релацијата (4) е:

$$u_x = \frac{u_x' + v}{1 + \frac{vu_x'}{c^2}} = \frac{c + v}{1 + (v \cdot c)/c^2} = \frac{c(c + v)}{v + c} = c$$

ПРИМЕР 2. Две честици се движат една наспроти друга со брзини $v_1 = c/2$ и $v_2 = 3c/4$.

Брзините v_1 и v_2 се измерени во лабораториски референтен систем S (сврзан со Земјата). Да се определи релативната брзина на двете честици.

Решение: Да го разгледаме движењето на честиците во два референтни системи: лабораторискиот систем S и подвижниот систем S' , сврзан со првата честица. S' се движи во однос на S со брзина v_1 (сл.2).



Сл. 2.

За определување на u'_x на втората честица во системот S' ќе ја искористиме релацијата (5). Во овој случај $v = v_1$ и $u_x = -v_2$ знакот "-" покажува дека брзината $\vec{v}_2$ на втората честица во системот S е во негативна насока на X -оската (сл. 2). По замената во (5) се добива:

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{vu_x}{c^2}} = \frac{-v_2 - v_1}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}.$$

Знакот "-" покажува, дека брзината u'_x е во негативна насока на X' -оската, т.е. кон првата честица.

Релативната брзина на две честици е еднаква на модулот на брзината од првата честица, измерена во референтниот систем, во кој другата честица е во мирување. Според тоа,

$$v_{\text{рел}} = |u'_x| = \frac{v_2 + v_1}{1 + \frac{v_1 \cdot v_2}{c^2}}$$

$$v_{\text{рел}} = \frac{\frac{3}{4}c + \frac{c}{2}}{1 + \frac{\frac{3}{4}c \cdot \frac{c}{2}}{c^2}} = \frac{\frac{3c + 2c}{4}}{1 + \frac{3}{8}} = \frac{\frac{5c}{4}}{\frac{11}{8}} = \frac{10}{11}c$$

Следува дека релативната брзина на две честици е секогаш помала од брзината на светлината во вакуум.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Напишете ги Ајнштајновите равенки за собирање на брзините за брзина на телото во системот S' кој се движи со брзина v во однос на системот S , по X -оската, во иста насока и во спротивна насока со брзината $\vec{v}$ на системот S' .

2. Дали според релативистичката теорија при собирањето на какви било брзини доби-

ениот резултат може да биде над брзината на светлината во вакуум c ?

3. Суперсоничен авион лета со брзина 1000 m/s (околу 3 пати поголема брзина од звукот) долж X -оската во однос на набљудувачот на Земјата. Друг авион лета со брзина 500 m/s во однос на првиот во иста насока и правец. Со колкава брзина лета вториот авион во однос на набљудувачот на Земјата? И тоа:

а) според класичната механика; б) според релативистичката механика.

(Одговор: а) $u_x = u'_x + v = 1500 \text{ m/s}$;

$$\text{б) } u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{vu'_x}{c^2}} = 1500 \text{ m/s}.$$

Класичниот и релативистичкиот резултат е ист бидејќи факторот $vu'_x/c^2 = 5,5 \cdot 10^{-12}$ е многу мал).

4. Светлината се движи по должина на X -оската со брзина $u=c$. Колкава е брзината на светлината во подвижниот референтен систем S' ?

(Одговор: $u'=c$)

5. Моторен чамец се движи по течението на волшебна река. Брзината на течењето на водата е $v=0,9 c$, а брзината на моторниот чамец спрема водата е $u'=0,2 c$.

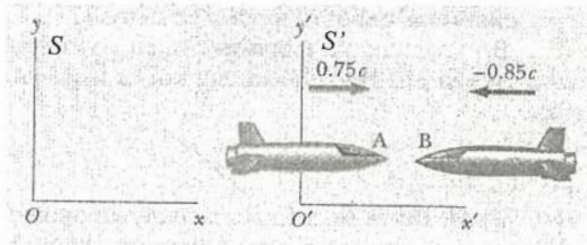
Колкава е брзината на моторниот чамец во однос на брегот?

(Одговор: $u = 0,93 c$)

6. Два вселенски брода A и B се движат во спротивни насоки (сл. 3). Брзината на A , измерена од набљудувачот на Земјата, е $0,75 c$, а на B е $0,85 c$.

Да се определи брзината на B во однос на A , и тоа: а) според релативистичката механика; б) според класичната механика.

Подвижниот систем S' е врзан со вселенскиот брод A .



Сл. 3.

Одговор: а) $u_x' = \frac{u_x - v}{1 - vu_x/c^2} = -0,980 c$;

б) $u_x' = u_x - v = -0,850c - 0,750c = -1,60 c$.

По модулот брзината на авионот В ($|u_x'| = 1,60 c$) е поголема од брзината на светлината во вакуум c . Тоа значи, Галилеевите трансформации не може да бидат применети за релативистички настани.



Повеќе информации побарајте на Интернет адресата:

www.alberteinstein.info/gallery/gallery.htm

1.10. МАСАТА ВО СПЕЦИЈАЛНАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА

Според првиот постулат на специјалната теорија на релативноста законите за сите физички појави имаат иста форма во сите инерцијални системи. Тоа значи дека е исполнет условот за инваријантност на релациите за физичките закони во однос на Лоренцовите трансформации. Меѓутоа, дали тоа е така и за законите од класичната динамика? Притоа се покажа дека ако Лоренцовите трансформации се применат на Њутновите закони од класичната динамика, нивната форма се менува.

Во класичната динамика еден од основните закони е II Њутнов закон, кој се изразува вака.

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (1)$$

За И. Њутн масата m е апсолутно непроменлива величина. Масата е една од карактеристичните величини за секое тело и е мерка

за неговата инертност. Ако на телото со константна маса m му дејствува константна сила $\vec{F}$, ќе добие и константно забрзување $\vec{a}$. Според основниот закон на динамиката (II Њутнов закон) не постои ограничување на брзините со кои би се движеле телата. Ако силата сè повеќе се зголемува и забрзувањето сè повеќе ќе се зголемува, а тоа значи дека и брзината на телото сè повеќе ќе се зголемува.

Така при некоја доволна голема сила, брзината на телото може да биде толку голема што би ја надминала брзината на светлината. Но, тоа е спротивно на вториот постулат од специјалната теорија на релативноста за константност на брзината на светлината и за нејзината гранична вредност во вакуум. Поради тоа II Њутнов закон, даден со релацијата (1), може да се применува само во класичната механика, но не и во релативистичката механика, т.е. во механиката на големите брзини.

А. Ајнштајн заклучува дека за да биде II Њутнов закон инваријантен, треба да се земе дека масата на телата не претставува инваријантна величина, т.е. масата на телата во движење не е иста со масата во мирување. Масата на телата зависи од нивната брзина само тогаш кога тие се движат со голема брзина. Таа зависност, според А. Ајнштајн, е дадена со:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

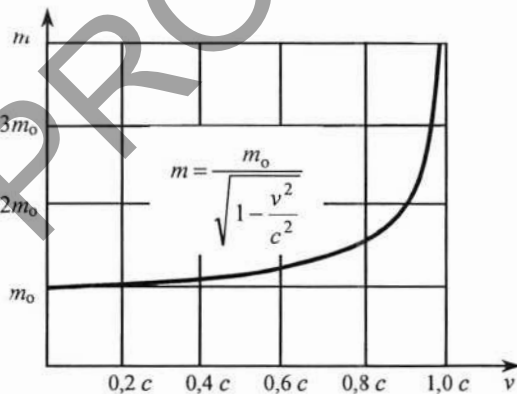
Релацијата (2), всушност, математички го изразува Ајнштајновиот закон за масата. Овде инваријантната маса m_0 е наречена **маса на телото во мирување** или **сопствена маса**, т.е. таа е масата на телото измерена во даден референтен систем во кој телото мирува. Неинваријантната маса m на истото тело која е зависна од неговата брзина v во однос на даден референтен систем е наречена **релативистичка маса** или **маса на движењето**.

Ајнштајновиот закон за масата подеднакво важи и за електронеутрални и за наелектризирани тела и честици. Ако релацијата (2) ја анализираме, тогаш се доаѓа до следниве сознанија:

1. Во сите случаи кога $v \ll c$, т.е. сè додека брзината на движењето на телото е мала во споредба со брзината на светлината, масата на телото може да се смета за постојана, односно следува дека $m = m_0$. Во тој случај масата на телото е и најмала. Тоа е така во класичната механика.

2. Кога брзината на телото при движењето се зголемува и постепено се доближува кон брзината на светлината c , масата m , согласно на релацијата (2), станува сè поголема. Поради тоа, за повторно и постојано зголемување на брзината на телото потребно е сè поголема сила. Според тоа, ако на телото му дејствува константна сила, тогаш забрзувањето ќе му се намалува во текот на времето, а нема да останува константно, како што тоа е во класичната механика, релацијата (1). Релативистичкиот ефект на масата особено доаѓа до израз кога брзината на телото би се доближила до брзината на светлината во вакуум. На пример, ако $v=0,86c$ од релацијата (2) се добива дека $m = 2m_0$. Тогаш телото ќе има двапати поголема инертност отколку кога се движи со мала брзина.

3. Да претпоставиме дека телото ја достигнало брзината на светлината, односно $v=c$, од релацијата (2) следува дека $m \rightarrow \infty$. Во таков случај телото би имало бескрајно голема инертност, поради бескрајно големата маса. Но, тоа не е можно од повеќе причини. Според тоа не е можно на кој било начин да се натера телото да се движи со брзина на светлината.



Сл. 1.

На слика 1 е прикажана графички зависноста на големината на релативистичката маса m , по релацијата (2) од v/c .

Ајнштајновиот закон за релативистичката маса можеше експериментално да биде проверен дури по откривањето на елементарните честици и уредите за нивно забрзување - акцелераторите. Така честичите од микросветот, на пример, електроните, протоните, деутероните, алфа честичите, можат да достигнуваат брзини блиски до брзината на светлината, при што нивната маса пресметана по релацијата (2) наполно се сложува со експерименталните ефекти што ги предизвикува.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дали релациите за физичките закони од класичната динамика во однос на Лоренцовите трансформации остануваат инваријантни?

2. Зошто II Њутнов закон, во неговата позната форма $\vec{F} = m\vec{a}$, не може да се применува во релативистичката механика?

3. Во Ајнштајновиот закон за масата, која маса е наречена маса на телото во мирување (сопствена маса), а која е релативистичка маса (маса на движењето)?

4. За кои тела и честици важи Ајнштајновиот закон за масата?

5. Кога доаѓа до израз релативистичкиот ефект на масата и кога тој беше експериментално проверен?

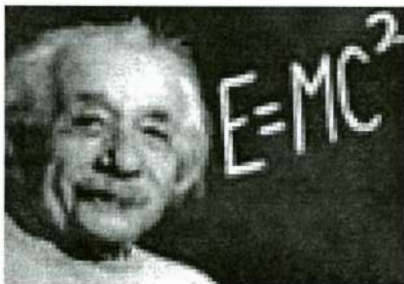
6. При која брзина телото ќе има релативистичка маса $m = 1,6m_0$?

(Одговор: $v=0,78c$ ms⁻¹)

7. Што се случува со густината на даден предмет ако неговата брзина се зголемува?

Напоменуваме дека релативистичката густина е $m/V = E/c^2V$; V - е волумен на предметот.

1.11. АЈНШТАЈНОВА РЕЛАЦИЈА ЗА ВРСКАТА МЕЃУ МАСАТА И ЕНЕРГИЈАТА



Покрај тоа што релативистичката механика претставува проширување и уточнување на класичната механика, таа содржи и во основа сосема нови факти. Така зголемувањето на масата на телата со зголемувањето на брзината при движењето е еден од фактите што го нема во класичната механика. Познато е дека масата и енергијата во класичната механика се разгледуваат како две независни величини со кои се карактеризираат телата. А. Ајнштајн докажува дека во релативистичката механика тие две величини не можат да се разгледуваат независно една од друга.

При движењето на дадено тело за да се зголемува неговата брзина, на него треба да дејствуваат надворешни сили. Но, штом на телото му се зголемува брзината, тогаш му се зголемува и неговата маса. Притоа за да најдеме каков дел од работата што ја вршат надворешните сили оди за зголемувањето на масата, ќе тргнем од релацијата (2) поглавје 1.10, со која е даден Ајнштајновиот закон за релативистичката маса. Неа можеме да ја напишеме на овој начин:

$$m = m_0 \left(1 - \frac{v^2}{c^2} \right)^{-1/2} \quad (1)$$

Ако релацијата (1) се развие според биномната формула, тогаш се добива:

$$m = m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) \quad (2)$$

Со понатамошно математичко преуредување на релацијата (2) се добива:

$$mc^2 = m_0 c^2 + \frac{m_0 v^2}{2} \quad (3)$$

Со изразот $\frac{m_0 v^2}{2}$ е дадена кинетичката енергија на телото кога тоа се движи со брзина v помала од брзината на светлината. Но, кога брзината на телото ќе стане приближна на брзината на светлината, $v \approx c$, тогаш m_0 треба да се замени со m , и кинетичката енергија на телото е $E = \frac{mv^2}{2}$.

Првиот член од десната страна на релацијата (3) го означуваме со E_0 ($E_0 = m_0 c^2$). Тргувајќи од идејата дека масата е определена форма на енергијата Ајнштајн членот $m_0 c^2$ го нарече **енергија на мирување на телото**. Тој покажува дека секое тело што мирува поседува "скриена" енергија или енергија при мирување позната како **сопствена енергија на телото**, којашто секогаш останува поврзана со тоа тело сè додека тоа постои. Во таа смисла електроните и атомите претставуваат самите пример на честици во кои е концентрирано огромно количество на енергија. Ако телото или честицата од каква било причина престанат да постојат, тогаш едновременно ја ослободуваат и својата енергија E_0 . Сепак, и таа енергија и масата, преминуваат на други тела или честици, а не исчезнуваат без да остават траги.

Сега релацијата (3) можеме да ја напишеме вака:

$$mc^2 = E_0 + E_k \quad (4)$$

Збирот од енергијата при мирување E_0 и кинетичката енергија E_k ја претставува **вкупната енергија на телото** што се движи со брзина v . Според тоа изразот mc^2 , всушност, е вкупната енергија на телото, а неа ја означуваме со E и се вика **релативистичка енергија**. Значи величината:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (5)$$

е наречена **релативистичка енергија**

Релативистичката енергија на едно тело е еднаква на збирот од неговата енергија во мирување и неговата кинетичка енергија.

$$E = mc^2 = E_0 + E_k \quad (6)$$

Познатиот закон од класичната механика за запазување на механичката енергија се обопштува во теоријата на релативноста. Релативистичкиот закон за запазување на енергијата гласи: **релативистичката енергија на затворен систем не се менува во текот на времето.**

Инаку $E = mc^2$ е познатата **Ајнштајнова релација за еквиваленцијата на масата и енергијата**, односно за **пропорционалноста на масата и енергијата**. Со неа е дадена врска меѓу масата и енергијата.

Од релацијата (6) разликата меѓу вкупната енергија на телото што се движи и неговата енергија при мирување е еднаква на кинетичката енергија:

$$E_k = E - E_0 = c^2(m - m_0) = c^2 \Delta m \quad (7)$$

Тоа значи дека кинетичката енергија на телото што се движи со брзина v споредлива со c е пропорционална на промената на неговата маса при движењето.

Така постоењето на енергијата на мирување $m_0 c^2$ и релативистичката енергија mc^2 на телото што се движи укажува на извонредно важниот заклучок: **Масата и енергијата на секое тело не можат да се разгледуваат како две независни карактеристики на материјата, туку како две форми на една иста физичка величина.**

Воопшто секоја промена на енергијата на телото (честицата или системот од тела) во која било форма ΔE се спроведува со пропорционална промена на масата $\Delta m = \Delta E / c^2$ и обратно, секоја промена на релативистичката

маса Δm се спроведува со промена на енергијата на телото:

$$\Delta E = c^2 \Delta m \quad (8)$$

Со оваа релација е даден **Ајнштајновиот закон за врска меѓу релативистичката маса и енергијата.**

Ајнштајновата релација (8) важи не само за кинетичката енергија, туку и за сите видови на енергија. Тоа значи дека оваа равенка е универзална и се користи не само во релативистичката механика, туку при сите процеси кај кои настанува некаква промена на масата и енергијата, како во макросветот, така и во микросветот. Таа важи, на пример, и при хемиските реакции, а и при нуклеарните реакции, при кои настанува макар и мала промена на масата.

Ајнштајновата релација за врска меѓу масата и енергијата меѓусебно ги поврзува и обединува двата основни закони во природата, законот за запазување на масата и законот за запазување на енергијата. Во класичната физика тие се разгледуваат одделно, независно еден од друг.

Резултатите добиени при експериментите со елементарните честичи и нуклеарните реакции недвосмислено ја потврдија исправноста на Ајнштајновите релативистички релации, како за масата (2), така и за врска меѓу масата и енергијата (8). Со тоа и целата Ајнштајнова теорија доби сигурна потврда.

ПРИМЕР 1.

Електрон се движи со брзина $v_0 = 0,85 c$. Да се определи неговата вкупна енергија и кинетичката енергија во eV. Енергијата при мирување на електронот $E_0 = 0,511 \text{ MeV}$.

Решение: Енергијата при мирување за електронот $E_0 = m_0 c^2 = 0,511 \text{ MeV}$. По релацијата (5)

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{0,511 \text{ MeV}}{\sqrt{1 - (0,85c)^2 / c^2}} = \frac{0,511 \text{ MeV}}{\sqrt{1 - 0,722}} =$$

$$E = 0,969 \text{ MeV} = 0,970 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

Од релацијата (6), кинетичката енергија на електронот, е

$$E_k = E - E_0 = 0,970 \text{ MeV} - 0,511 \text{ MeV}$$

$$E_k = 0,459 \text{ MeV} = 0,459 \cdot 10^6 \text{ eV}$$

ПРИМЕР 2. Вкупната енергија на протонот е трипати поголема од неговата енергија во мирување. а) Колкава е енергијата на протонот во мирување во eV? б) Со колкава брзина се движи протонот во eV? в) Колкава е кинетичката енергија на протонот во eV?

Решение: а) Енергијата при мирување на протонот $E_0 = m_p c^2$.

Масата на протонот $m_p = 1,007276 \text{ u} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$
 $1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

$$E_0 = m_p c^2 = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ J} = 9,38 \cdot 10^8 \text{ eV} = 938 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}; 1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

б) Според релацијата (5), бидејќи вкупната енергија на протонот е трипати поголема од неговата енергија при мирување, се добива:

$$E = 3E_0;$$

$$\frac{m_p c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 3m_p c^2; 3 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{9}; v = \frac{\sqrt{8}}{3} c = 0,94 c; v = 2,83 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

в) Од релацијата (6)

$$E_k = E - E_0 = 3m_p c^2 - m_p c^2 = 2m_p c^2$$

$$E_k = 2E_0 = 1876 \text{ MeV}$$

Според тоа вкупната енергија на протонот е $E = E_0 + E_k = 2814 \text{ MeV} = 3E_0$.

ПРИМЕР 3. Во еден од начините на радиоактивно распаѓање, еден атом од ураниум со маса во мирување $m_0(\text{U}) = 232,03714 \text{ u}$ се распаѓа на еден атом од ториум со маса во мирување $m_0(\text{Th}) = 228,02873 \text{ u}$ и еден атом од хелиум со маса во мирување $m_0(\text{He}) = 4,00260 \text{ u}$. Масите се дадени во унифицирани единици за атомска маса ($1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$). Да се пресмета енергијата што се ослободува при дадениот распад.

Решение: Промената на масата Δm при радиоактивниот распад на еден атом од ураниум е

$$\Delta m = m_0(\text{U}) - [m_0(\text{Th}) + m_0(\text{He})],$$

$$\Delta m = 232,03714 \text{ u} - [228,02873 \text{ u} + 4,00260 \text{ u}],$$

$$\Delta m = 0,0581 \text{ u} = 0,0581 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg},$$

$\Delta m = 9,64 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$ - претворена во кинетичка енергија на атомот на ториумот и хелиумот. (види физика III година - дефект на масата).

По релацијата (8) се добива

$$\Delta E = \Delta m c^2 = 9,64 \cdot 10^{-30} \text{ kg} (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})^2$$

$$\Delta E = 8,87 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 5,5 \text{ MeV},$$

$$1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{12} \text{ MeV}.$$

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како се разгледуваат масата и енергијата во класичната механика?

2. Што докажува Ајнштајн во врска со масата и енергијата во релативистичката механика?

3. Каква енергија поседува телото кое мирува и како е наречена?

4. Која енергија е наречена релативистичка и на што е еднаква?

5. Како гласи релативистичкиот закон за запазување на енергијата?

6. На што укажува постоењето на енергијата на мирување и релативистичката енергија на телото што се движи?

7. Атомот на водородот составен од протон и електрон има енергија на сврзување од 13,6 eV. За колкав процентен износ масата на протонот и електронот е поголема од масата на водородниот атом? Енергијата при мирување на протонот $E_p = 938,28 \text{ MeV}$, а на електронот $E_e = 0,511 \text{ MeV}$. Масата при мирување на водородот е $m_H = 13,6 \text{ eV}/c^2$.

$$(\text{Одговор: } \left(\frac{m_H}{m_p + m_e} \right) \% = 1,45 \cdot 10^{-6} \%).$$

Процентната разлика е толку мала што е тешко мерлива.)

8. Во космичките зраци се сретнуваат протони со енергија $E = 1 \cdot 10^{19}$ eV. Протонот со таква енергија го пресекува Млечниот пат којшто има дијаметар $L_0 = 1 \cdot 10^{21}$ m. Изведете ја релацијата за дијаметарот L на Млечниот пат и колкава е неговата вредност "од гледна точка" на протонот? Енергијата при мирување на протонот $E_0 = 1 \cdot 10^9$ eV. Напомена, во референтниот систем сврзан со протонот, Млечниот пат се движи со истата по големина брзина со којашто протонот се движи во однос на Млечниот пат.

(Одговор: $L = L_0 \frac{E_0}{E} = 10^{11}$ m)

9. Квазарите се многу оддалечени галаксии и во нив се одделува светлинска енергија од околу $1 \cdot 10^{40}$ J во секоја секунда. За колку килограми се намалува масата на квазарот за една минута?

(Одговор: $\Delta m = 0,11 \cdot 10^{24}$ kg/s = $6,6 \cdot 10^{24}$ kg/min приближно со масата на Земјата)

10. Да се определи брзината на космичка честица ако нејзината кинетичка енергија е еднаква на половина од енергијата во мирување.

(Одговор: $E_k = E - E_0$;

$v = \sqrt{\frac{5}{9}} c = 0,74 c = 2,22 \cdot 10^8$ m/s.

11. Колкава е масата на тело со енергија на мирување еднаква на годишното производство на електрична енергија во целиот свет, која е околу $5 \cdot 10^{20}$ J?

(Одговор: Околу 5600 kg)

12. Ако масата е форма на енергија, дали тоа значи дека пружината има поголема маса кога е компримирана отколку кога е отпуштена?



Повеќе информации за Ајнштајновата релација за врскајќа меѓу масата и енергијата побарајте на Интернет адресата:

<http://www.nobelprize.org>



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

РЕЛАТИВИСТИЧКИ ИМПУЛС

Во класичната механика импулсот на телото со инертна маса m и брзина $\vec{v}$ е даден со формулата:

$$\vec{p}_k = m \vec{v}. \quad (1)$$

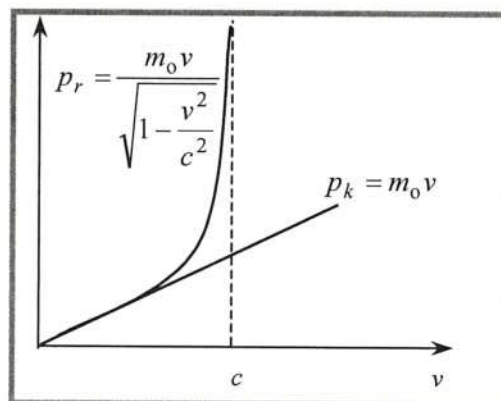
Во специјалната теорија на релативноста се дава поопшта определба на величината импулс на телото. Имено, во класичната механика масата m е апсолутно непроменлива величина. Независно од тоа дали телото се движи или се наоѓа во мирување $m(v) = m(0)$.

Релативистичкиот импулс на телото е даден со формулата:

$$p_r = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (2)$$

каде што со $m = m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ е дадена релативистичката маса на телото m која е зависна од неговата брзина v во однос на даден референтен систем; m_0 е масата на телото во мирување.

При движење со мали брзини v^2/c^2 може да се занемари и формулата (2) преминува во познатата од класичната механика формула за импулс на телото.



Сл. 1.

На сл. 1 е прикажана графички зависноста на големината на релативистичкиот p_r и нерелативистичкиот p_k импулс од брзината $\vec{v}$. При движење со мали брзини ($v \ll c$) двата графици се совпаѓаат, додека за брзини, блиски до брзината на светлината тие принципиелно се разликуваат. За такви брзини се набљудува важен релативистички ефект: импулсот на телото брзо се зголемува, додека брзината скоро како да не се менува.

Сите експериментални набљудувања на судири меѓу честички коишто се движат со брзини блиски на брзината на светлината, покажуваат дека релативистичкиот импулс на затворен систем се запазува.

За да ја најдеме врска помеѓу релативистичката енергија и релативистичкиот импулс соодветните релации (3) и (4) ги квадрираме, потоа релацијата (4) ја множиме со c^2 и ја вадиме од релацијата (3)

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad (3)$$

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad (4)$$

После соодветните алгебарски трансформации се добива:

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4 = E_0^2 = \text{const}, \quad (5)$$

каде што $E_0 = m_0 c^2$ е енергијата на мирување.

Релативистичкиот импулс p е поврзан со вкупната релативистичка енергија E преку релацијата:

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4, \quad (6)$$

Енергијата и импулсот на едно тело имаат различни вредности ако движењето на телото се разгледува во различни инерцијални референтни системи. Вредноста на величината $E^2 - p^2 c^2$ не зависи од изборот на референтниот систем и секогаш е еднаква на квадратот од енергијата на мирување. Од релацијата (5)

може да се изрази релативистичкиот импулс.

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_0^2}, \quad (7)$$

Ако ставиме дека релативистичката енергија $E = E_k + E_0$, го изразуваме релативистичкиот импулс преку кинетичката енергија E_k и енергијата при мирување E_0 на телото, добиваме:

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E_k (E_k + 2E_0)} \quad (8)$$

ПРИМЕР 1. а) Протон се забрзува од напон 500V. Колкави се кинетичката енергија и импулсот на протонот? б) Со акцелераторот во Ферми лабораторијата (САД) може да се забрзуваат протони до кинетичка енергија $5 \cdot 10^{11}$ eV. Колкав е импулсот на протонот?

Енергијата на мирување на протонот е $E_0 = 9,38 \cdot 10^8$ eV.

Решение: а) Кинетичката енергија на протонот е $E_k = eU = 500$ eV. Таа е многу помала од енергијата на мирување на протонот E_0 . Поради тоа во заградата на релацијата (8) можеме да го занемариме членот E_k .

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{2E_k E_0} = 9,7 \cdot 10^5 \text{ eV}/c.$$

При пресметувањето импулсот на протонот го претставиме во единици енергија (измерена во eV), поделена со брзината на светлината c . Такво претставување на импулсот на микрочестичките нашироко се користи во атомската и нуклеарната физика и физиката на високите енергии.

Не е тешко да провериме ако во последната равенка замениме $E_k = \frac{m_0 v^2}{2}$ и $E_0 = m_0 c^2$,

ќе добиеме формула која се совпаѓа со формулата за импулсот во класичната физика $p = m_0 v$. Следува, кога кинетичката енергија на една честичка е многу помала од нејзината енергија при мирување, релативистичките ефекти се занемаруваат.

б) Во овој случај кинетичката енергија на протонот е многу поголема од неговата

енергија на мирување. Ваквите честици се наречени *ултрарелативистички*. Тие се движат со брзини споредливи со брзината на светлината. Нивната енергија на мирување може да се занемари. Релативистичката енергија на ултрарелативистичката честица е еднаква на нејзината кинетичка енергија. Во релацијата (7) го занемаруваме E_0 и за импулсот на ултрарелативистичката честица добиваме:

$$p = \frac{E}{c} = 5 \cdot 10^{11} \text{ eV}/c.$$

ПРИМЕР 2. Електрон кој има маса $m_0 = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ се движи со брзина $v = 0,75c$. Да се определи неговиот релативистички импулс и да се спореди со импулсот пресметан од класичната релација.

Решение: Ако во релацијата (2) се заменат масата и брзината на електронот, имаме:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{(9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg})(0,75 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{\sqrt{1 - \frac{(0,75 \cdot c)^2}{c^2}}}$$

$$p = 3,1 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$$

По класичната релација се добива:

$$p = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 0,75 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} = 2,05 \cdot 10^{-22} \text{ kg m/s}$$

Точниот релативистички резултат за импулсот е 50% поголем од класичниот резултат за импулсот на електронот.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Електрон и протон имаат еднаква:
а) релативистичка енергија; б) кинетичка енергија. Која честица има поголем релативистички импулс?

2. Честица се движи со брзина $0,99c$. Колку пати релативистичкиот импулс на честичката е поголем од импулсот пресметан по формулата од класичната механика?

(Одговор: 7,1 пати поголем од импулсот добиен по класичната формула.)

1.12. ОСНОВНИ ПОИМИ ЗА ОПШТАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА

Специјалната теорија на релативноста дава задоволителни резултати при третирањето на различните појави само за инерцијални системи. Од таа причина А. Ајнштајн оваа теорија ја нарече "специјална". Тоа значи дека таму каде што постои забрзување, Лоренцовите трансформации не можат успешно да се применат. Според тоа, математичките релации со кои се дадени природните физички закони остануваат непроменети, согласно на специјалната теорија на релативноста, само за движење без забрзување. Во неа не се разгледува дејството на гравитационите сили и сите останати видови на забрзани движења.

А. Ајнштајн во 1916 година својата специјална теорија на релативноста ја прошири и за забрзани и централни движења и ја постави **општата теорија на релативноста**.

Имено, А. Ајнштајн доаѓа до заклучок дека принципот на релативност не може да важи само за рамномерно и праволиниско движење, туку и за два координатни системи кои се движат со релативно забрзување еден во однос на друг. Со други зборови и *забрзаните движења се релативни*.

Во општата теорија на релативноста А. Ајнштајн ја дава врската меѓу гравитационото поле и забрзаното движење како и тоа дека помеѓу инерцијалните и гравитационите сили не постојат принципиелни разлики. Според оваа теорија излегува дека инерцијалните и гравитационите појави зависат од заедната положба и движењето на телото. Така, воопшто може да се каже дека со општата теорија на релативноста е извршена генерализација на релативноста за просторот и времето, така што специјалната теорија на релативноста може да се смета како нејзин составен дел. Но, ако специјалната теорија на релативноста важи за појави кои не настануваат под дејство на гравитацијата, тогаш општата теорија на релативноста важи за појавите поврзани со гравитацијата и инерцијата.

Врз основа на изнесеното гледаме дека **теоријата на релативноста** е изградена во два дела кои можеме на овој начин да ги дефинираме:

- **Специјалната теорија** на релативноста е оној дел од теоријата на релативноста кој важи за појавите чија причина не е општата гравитација или посебно привлекувањето на Земјината тежа.

- **Општата теорија на релативноста** е оној дел од теоријата на релативноста кој важи за појавите поврзани со гравитационите и инерцијалните сили која ги третира како истоветни.

ПРИНЦИП НА ЕКВИВАЛЕНТНОСТ

Од механиката ни е познато дека при праволиниското движење со забрзување се појавува **силата на инерција**. Иста таква сила се појавува и при ротацијата, како последица на промената на насоката на брзината под влијание на **центрифугалната сила**. Овие сили кои се јавуваат при промената на движењето на даден систем се наречени **инерцијални сили**.

Современата физика покажува дека масите од околината во просторот каде што се движи телото делуваат на него, и тоа посредно, со поле кое има определена јачина, што тие го создаваат околу себе и се вика **гравитационно поле**.

По II Њутнов закон врската меѓу интензитетот на инерцијалната сила $\vec{F}$ и забрзувањето $\vec{a}$ на системот во кој се наоѓа телото е:

$$F = m_i a \quad (1)$$

Коефициентот на пропорционалноста во оваа релација m_i е константа која се вика **инершна ("шрома") маса**. Ако, пак, силата $\vec{F}$ која го предизвикува забрзувањето е силата на тежата, тогаш:

$$F = m_g G, \quad (2)$$

каде што G е јачината на гравитационното поле на Земјата, а коефициентот на пропорционалноста m_g се вика **гравитациона ("тешка") маса**.

Гравитационното поле има фундаментално значење: **имено, телата кои се движат само под дејство на ова поле добиваат забрзување кое не зависи ниту од материјалот, ниту од физичката состојба на телото**. Тоа значи дека тела со различна маса и форма (на пример, лист хартија и оловно топче) во полето на Земјината тежа паѓаат за исто време (се разбира во безвоздушен простор - вакуум). Од релацијата (1) и (2) се добива:

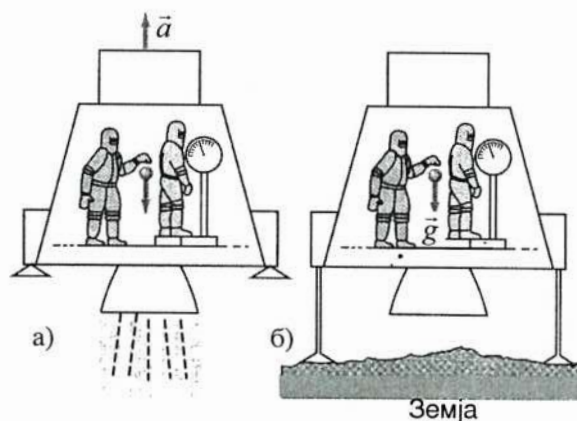
$$a = \frac{m_g}{m_i} G \quad (3)$$

За дадена вредност на јачината на гравитационното поле G , забрзувањето a што го добиваат телата со различни маси и форми ќе биде еднакво, според (3), само ако односот $\frac{m_g}{m_i}$ биде ист за сите тела. Направени се многу опити за одредување на овој однос. Така Л. Етвеш преку својот опит утврдил дека овие две маси за едно исто тело меѓусебно се еднакви со релативна точност од $5 \cdot 10^{-8}$. Врз основа на тоа следува:

$$m_i = m_g, \quad (4)$$

т.е. дека **инершната и гравитационната маса се еднакви**.

Овој став на А. Ајнштајн му послужи како основа за проширување на специјалниот принцип на релативноста.



Сл. 1.

Да замислиме ваков опит. Нека набљудувачи го набљудуваат слободното паѓање на тела со различни маси, и тоа: првите двајца во вселената на таква оддалеченост каде што не се чувствува влијанието на гравитационото поле на Земјата како и на други планети, како што е прикажано на сл. 1а, а вторите во гравитационото поле на Земјата (сл. 1б).

Набљудувачите во затворената кабина на површината на Земјата (инерцијален систем) констатираат дека сите тела слободно паѓаат со исто забрзување $\vec{g}$, независно од големината на нивната маса. Набљудувачите во вселената, исто така, се затворени во идентична кабина. Кабината се движи забрзано и заедно со ракетата, која ја забрзува, претставува неинерцијален систем. Нека забрзувањето $\vec{a}$ што го добива во текот на времето овој неинерцијален систем, под дејство на инерцијалната сила, е еднакво по интензитет со забрзувањето $\vec{g}$ во гравитационото поле во инерцијалниот систем на површината на Земјата. Набљудувачите во неинерцијалниот систем констатираат дека сите тела со различни маси кои ги пуштаат да паѓаат во кабината имаат исто забрзување $\vec{a}$ независно од нивна маса.

Врз основа на набљудуваните појави во кабините набљудувачите заклучуваат дека со кој било механички експеримент изведен внатре во кабината не може да се направи разлика дали кабината е со константно забрзување во просторот или е во мирување (или е во движење со константна брзина) во присуство на хомогено гравитационо поле $\vec{g} = -\vec{a}$, како што е прикажано на сл. 1а. Ако предметите се испуштат во кабината тие ќе паѓаат на "подот" со забрзување $\vec{g} = -\vec{a}$. Ако набљудувачите се качат на вагата, ќе ја измерат нивната "тежина" со големина ma .

Но, не само слободното паѓање на тела, туку и сите физички појави за набљудувачите се случуваат на ист начин во нивните кабини (референтни системи). Ниту еден од набљудувачите во затворените кабини, врз основа на појавите што во нив се случуваат, не може да го разликува дејствувањето на гравитационите сили од она на инерцијалните

сили. Тоа значи дека постои **еквивалентност на забрзаното движење со гравитационо поле**, односно на инерцијалните сили со гравитационите сили.

А. Ајнштајн врз основа на направените анализи за поврзувањето или откривањето на поврзаноста меѓу појавите, едноставно, гравитационата сила ја сфаќа како инерцијална сила на материјата, која се наоѓа едновременно во просторот и времето. Врз основа на ваквото сфаќање за издначување на гравитацијата со инерцијата А. Ајнштајн го формулира познатиот **принцип на еквивалентност**, кој гласи: **Појавите во инерцијалниот систем кој се наоѓа во хомогено гравитационо поле и во неинерцијалниот систем кој се движи рамномерно забрзано и праволиниски се случуваат на ист начин**. Овој принцип се наоѓа во основата на општата теорија на релативноста.

На таков начин А. Ајнштајн го постави принципот на еквивалентност меѓу забрзаните системи и системите што се наоѓаат во гравитационото поле.

Според специјалната теорија на релативноста, за телото што се движи рамномерно и праволиниски можеме да сметаме дека се наоѓа во мирување. Исто така, според принципот на еквивалентност можеме да сметаме дека телото кое се движи рамномерно забрзано се наоѓа во мирување во соодветното гравитационо поле.

А. Ајнштајн укажа дека и забрзаното движење е релативно. Според него и протекувањето на сите природни појави ќе зависи од природата на соодветното гравитационо поле. На тој начин А. Ајнштајн **принципот на релативноста** го проширува за сите координатни системи и го поставува таканаречениот **општ принцип на релативноста** кој гласи:

Законите на физиката за сите природни појави мора да бидат формулирани на таков начин за подеднакво да важат во сите координатни системи кои се движат со произволна брзина.

На тој начин А. Ајнштајн го проширува принципот на релативноста на сите движења и во однос на кои било системи, со што ја опфати и гравитацијата и сите останати видови на забрзани движења, земајќи ја предвид и ротацијата.

ПРОСТОРОТ И ВРЕМЕТО ВО ОПШТАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА

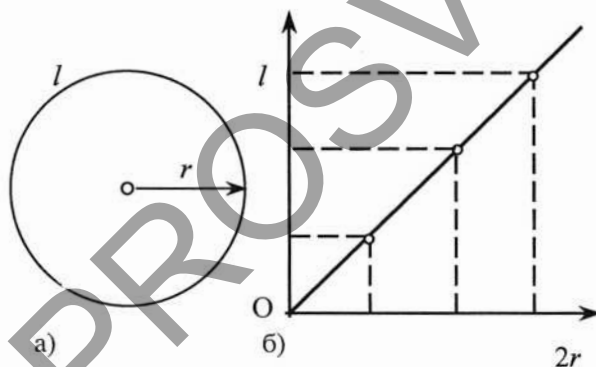
Во досегашните расудувања, според специјалната теорија на релативноста, времето е хомогено, а просторот хомоген и изотропен во сите инерцијални системи. Геометриските својства на хомогениот изотропен простор се опишуваат со Евклидовата геометрија.

Врз основа на една теорема од Евклидовата геометрија - збирот на аглиите во триаголникот во рамнина е 180° , а најкраткото растојание меѓу две точки е отсечката од дадената права.

Да го разгледаме следниов замислен опит: Имено, разгледуваме еден круг со радиус r и должина на обемот l кој мирува во даден инерцијален референтен систем (сл. 2а). Набљудувачот кој мирува исто така, во инерцијалниот референтен систем, по измерените вредности за l и r како резултат на нивниот однос добива:

$$\frac{l}{r} = 2\pi \quad (5)$$

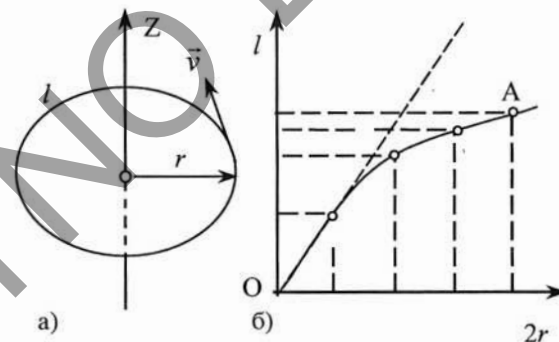
кој резултат е во согласност со Евклидовата геометрија.



Сл. 2. а) Круг во инерцијален референтен систем; б) зависност на обемот на круг од радиусот во инерцијален референтен систем

Графички во дадена рамнина да ја преставиме врската меѓу l и r (сл. 2б). Ако на ординатата l и на апсцисата $2r$ ги нанесуваме

должините на обемот на круговите, односно нивните соодветни радиуси, кои се измерени со иста единица за должина, тогаш на графикот добиваме права линија, која минува низ координатниот почеток. Наклонот на оваа линија е даден со односот $l/2r$ и е еднаков на π . Според тоа, за кругови со различни радиуси дадениот однос $l/2r$ е секогаш ист и ја претставува универзалната константа π , независно од местото во просторот и од правецот на ориентацијата на кругот (неговиот радиус) во просторот. Тоа значи дека **Евклидовиот простор е хомоген и изотропен во внатрешноста на инерцијалните системи.**



Сл. 3. а) Ротирација на круг со брзина приближна на брзината на светлината; б) зависност на обемот на круг од радиусот во неинерцијален систем

Нека истиот круг, во однос на инерцијалниот референтен систем, ротира со аголна брзина со интензитет ω околу Z -оската која минува нормално на рамнината од кругот низ неговиот центар (сл. 3а). Кругот ротира со линиска брзина $v = r\omega$ која е споредлива со брзината на светлината. Ги земаме елементарните делови од обемот на кругот, т.е. малите лази, приближно како отсечки од прави линии, тие за набљудувачот кој мирува во инерцијалниот референтен систем ќе имаат релативно скратување на должините. Поради тоа односот l/r ќе биде сега различен од 2π , бидејќи нормално на правецот на движењето, по радиусот r , должината не се менува.

Сосема поинаков график добиваме ако истата врска меѓу l и r ја претставиме во

забрзаниот неинерцијален референтен систем (сл. 3.6) Во тој случај за графикот $l=f(2r)$ добиваме крива линија. Односот $l/2r$ (наклонот на кривата) се менува и повеќе не е постојан и еднаков на π . Во зависност од радиусот r , на кружницата нејзината должина се смалува како последица на релативистичкиот ефект, види релација (5) поглавје 1.8 - скратување на должината поради поголема линиска брзина. Ваквиот простор не е Евклидов. Тој не е хомоген, бидејќи точките во него не се рамноправни. И не само што не е хомоген, туку е и неизотропен, бидејќи правците на l не се еквивалентни на правците на r или на некои други (сл. 3б).

Во неинерцијален референтен систем (сл.3а) неколку часовници поставени на различни растојанија од r , во однос на часовникот што се наоѓа во инерцијалниот референтен систем, различно ќе доцнат, во зависност од брзината v ($v=r\omega$) - ќе покажуваат различно релативистичко продолжување на временските интервали. Тоа покажува дека и времето е нехомогено во неинерцијални референтни системи.

Врз основа на наведените податоци како и принципот на еквиваленција во општата теорија на релативноста можеме да ги изведеме следниве заклучоци:

- Во согласност со општата теорија на релативноста *телото секогаш се движи по инерција* независно од тоа дали се наоѓа во гравитационо поле или надвор од него. *Појавувањето на гравитационо поле предизвикува закривување на просторот*. Таму каде што во просторот нема кривина телото поради инерцијата се движи рамномерно и праволиниски, а штом наидува на закривеност на просторот се движи по т.н. *геодејска линија*, односно по "искривен" простор, т.е. по линија која претставува најкраток пат меѓу две точки на кривата површина. Движењето по оваа линија се случува за минимално сопствено време (тоа е времето на часовникот поврзан со телото што се движи);

- Само на *голема оддалеченост меѓу телата просторот може да се смета како рамен*, Евклидов, а во близината на телото просторот се закривува и тоа толку појакно колку што е појакно гравитационото поле.

Значи, општата теорија на релативноста доведува до напуштање на Евклидовата геометрија и воведување на т.н. елиптична или Риманова неевклидова геометрија;

- *Надвор од гравитационо поле, просторот е хомоген и изотропен, а времето хомогено и телото се движи по инерција во класична смисла на зборот. Патекајќи му е праволиниска;*

- *Во гравитационо поле времето е нехомогено, а просторот нехомоген и неизотропен, и линијата по која се движи телото не е повеќе права*. Нејзината форма зависи од структурата на гравитационото поле;

- *Од општијата теорија на релативноста следува Њутоновиот закон за гравитација, како граничен случај за слаби полиња и при мали брзини на телата кои заемно си дејствуваат.*



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Од кои делови е изградена теоријата на релативноста и како се дефинираат?

2. Објаснете ја еквивалентноста на инерцијалните со гравитационите сили.

3. Врз основа на што А. Ајнштајн го формира познатиот принцип на еквивалентност и како гласи?

4. Како гласи општиот принцип на релативноста?

5. Каков е Евклидовиот простор во внатрешноста на инерцијалните системи?

6. Каков е просторот и времето во неинерцијалните системи?

7. Според општата теорија на релативноста, како се движи телото во гравитационо поле или надвор од него?

8. Кога телото во просторот по инерција се движи рамномерно и праволиниски, а кога се движи по т.н. геодејска линија?

9. Каков е просторот во и надвор од гравитационото поле и како се движи телото?

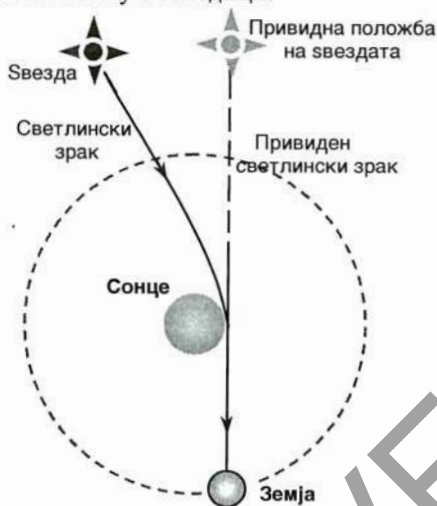
10. Врз основа на општата теорија на релативноста, кој закон следува како граничен случај и кога важи?



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

ПОТВРДА НА ОПШТАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА ПРЕКУ ЕФЕКТИ ВО ВСЕЛЕНАТА

Врз основа на принципот на еквивалентност и неговата примена на целата физика, а не само на механиката, ќе разгледаме квалитативно неколку последици.



Сл. 4. Отклонување на светлинскиот зрак од правецот на ширење во гравитационо поле на Сонцето

Првата последица на принципот на еквивалентност е отклонување на светлинскиот зрак од правецот на распространување во гравитационо поле, односно **закривување на светлинскиот зрак во гравитационо поле**.

А. Ајнштајн предвиде дека светлинскиот зрак од далечна ѕвезда кога минува во близина на Сонцето би бил отклонет за некој агол од неговиот правец на распространување, како што е прикажано на сл. 4. Поради големата сјајност на Сонцето таквата ѕвезда не може да биде видена од Земјата. Ваквото предвидување беше за првпат потврдено од астрономите како закривување на светлината, за време на тоталното затемнување на Сонцето во 1919 година кога беше набљудувана положбата на ѕвезда близу до крајот на сенката од Сонцето.

Како втор интересен ефект предвиден со општата теорија на релативноста е **промена на**

временскиот интервали и фреквенцијата на светлината во гравитационо поле.

Часовник во присуство на јако гравитационо поле (полето зависи од масата и опаѓа со растојанието од него) ќе мери поголеми временски интервали, отколку часовник во гравитационо поле кое е занемарливо мало.

Според тоа, фреквенциите на зрачењето емитирано во присуство на јако гравитационо поле како што е на Сонцето ќе бидат помали од фреквенциите на зрачењето емитирано од истите атоми на Земјата – во слабо гравитационо поле.

Ваквото поместување на страната кон помалите фреквенции (поголеми бранови должини) е наречено **гравитационо црвено – поместување**. Ова поместување може да биде забележано во спектралните линии емитирани од атомите во ѕвездите со големи маси.

Согласно на општата теорија на релативноста, ако густината на масата на дадено тело е толку голема како што е густината на една колапсирана голема ѕвезда, тогаш неговото гравитационо привлекување, во внатрешноста на определено растојание од неговиот центар, ќе биде толку големо така што целата материја и светлината ќе бидат заробени.

Од астрофизиката е познато дека во еволуциониот пат на ѕвездите, концентрацијата на нивната маса станува многу голема кога големата ѕвезда го исфрла од јадрото своето нуклеарно гориво и колапсира во многу мал волумен. Тогаш големата ѕвезда станува **црна јама**. Имено, во нејзина близина закривувањето на просторот е така крајно што, во внатрешноста на некое растојание од центарот на **црната јама**, сите материи и светлината, како и кое било друго електромагнетно зрачење се наполно заробени.

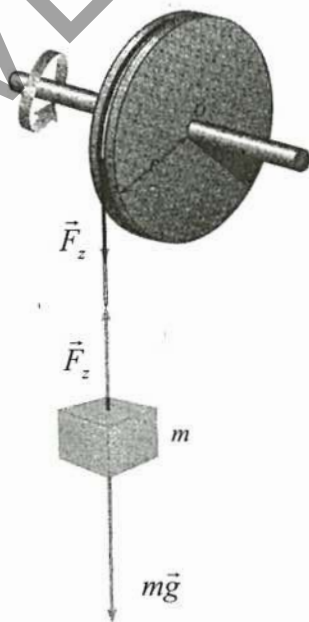
Бидејќи единствен информатор за состојбата во вселената се електромагнетните бранови (светлината) ние не сме во состојба да дознаеме за ваквите ѕвезди – колапсари, или т.н. црни дупки бидејќи од нив не излегува ниту еден единствен електромагнетен бран.



Повеќе информации за општита теорија на релативноста побарајте на Интернет.

2. РОТАЦИОНО ДВИЖЕЊЕ НА ТВРДО ТЕЛО

- КИНЕМАТИКА НА ТВРДО ТЕЛО ВО РОТАЦИЈА
- ДИНАМИКА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ.
МОМЕНТ НА СИЛА ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА
- ОСНОВЕН ЗАКОН НА ДИНАМИКАТА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ.
МОМЕНТ НА ИНЕРЦИЈА
- МОМЕНТ НА ИМПУЛСОТ ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА
- ЗАКОН ЗА ЗАПАЗУВАЊЕ НА МОМЕНТОТ НА ИМПУЛСОТ НА ТЕЛО
ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА
- КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ
- АНАЛОГИЈА ПОМЕЃУ ВЕЛИЧИНИТЕ И ЗАКОНИТЕ
ПРИ ТРАНСЛАТОРНО И РОТАЦИОНО ДВИЖЕЊЕ



2.1. КИНЕМАТИКА НА ТВРДО ТЕЛО ВО РОТАЦИЈА

Постојат два вида на механичко движење на тврдо тело: *транслаторно движење на телото и ротација на тврдото тело*. Посебен вид на ротација на тврдо тело е *ротацијата околу неподвижна оска*. Ние овде ќе се задржиме само на таквиот вид ротационо движење.

Транслаторното движење на тело е она движење при кое сите негови материјални точки се движат по еден и ист начин. Затоа при овој вид на движење телото може да се замени со една материјална точка. (Овој вид на движење го имате детално изучено во градивото од Физика за I година реформирано гимназиско образование.)

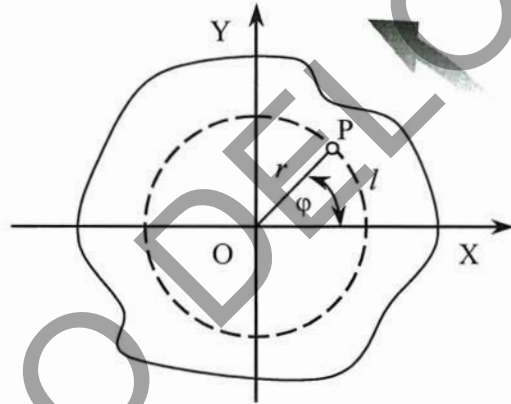
При изучувањето на ротацијата на тврдо тело околу неподвижна оска овој вид на движење не може да се анализира третирајќи го телото како материјална точка, бидејќи различни делови од телото изминуваат различни патишта, имаат различни линиски брзини и линиски забрзувања. Телото се состои од голем број честици секоја со своја линиска брзина и линиско забрзување. Анализата на ротационото движење на тврдо тело може многу да се поедностави ако се претпостави дека телото што ротира е апсолутно тврдо.

Апсолутно тврдото тело се дефинира како тело со определена форма која не се менува, односно тело кај кое растојанието меѓу кои било честици од кои е составено телото не се менува. Реално во природата апсолутно тврди тела не постојат, бидејќи секое тело под дејство на надворешни сили трпи деформации, но ако во одредени услови тие деформации се занемарливо мали тогаш тоа тело може да се разгледува како апсолутно тврдо тело.

Овде ќе ја разгледаме ротацијата на апсолутно тврдо тело околу неподвижна оска која уште се нарекува *идеално ротационо движење*. Идеалното ротационо движење е такво движење при кое сите точки од телото опишуваат кружници кои лежат во паралелни рамнини, а центрите на тие кружници лежат на

една иста права која се вика оска на ротација.

Нека издвоиме една од тие паралелни рамнини (сл. 1) која ротира околу неподвижна оска што поминува низ точката O и е нормална на рамнината, односно се совпаѓа со Z – оската.



Сл. 1.

Една честича од телото која лежи во оваа рамнина се наоѓа во точката P на растојание r од точката O која е центар на кружницата со радиус r . Положбата на точката P ќе ја одредиме со поларните координати (r, φ) , бидејќи во овој случај се менува само аголот φ , а растојанието r останува константно. Честичата движејќи се по кружницата од положба OX ($\varphi=0$), ако претпоставиме дека била таму во почетниот момент $t=0$, до точката P , опишува лак l кој е поврзан со r и φ со релацијата

$$l = r\varphi \quad (1)$$

или

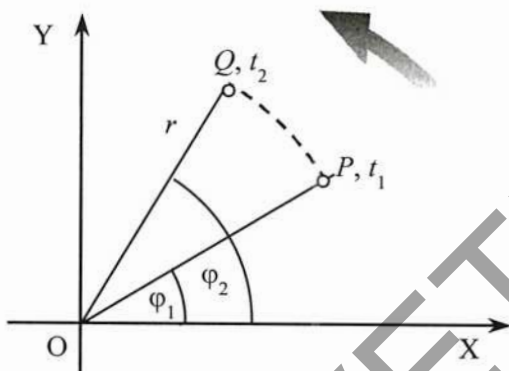
$$\varphi = \frac{l}{r} \quad (2)$$

Аголот φ се изразува во радијани (rad). Еден радијан е агол на кој му соодветствува лак со должина еднаква на радиусот ($l=r$). Бидејќи на периметарот на кругот му соодветствува полн агол од 360° , тогаш согласно (2) $360^\circ = \frac{2\pi r}{r}$, односно на 360° одговараат 2π rad.

Следи дека еден радијан е $1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,3^\circ$.

Ако честицата од тврдото тело (сл. 2) дојде од точката P во точката Q за временски интервал Δt , радиусот ќе опише агол $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ еднаков на **аголното поместување**. Дефинираме средна аголна брзина ω_{sr} како однос на ова аголно поместување $\Delta\varphi$ со временскиот интервал Δt за кое настанало

$$\omega_{sr} = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (3)$$



Сл. 2.

Моментната аголна брзина ω се дефинира како гранична вредност на односот (3) кога $\Delta t \rightarrow 0$:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (4)$$

Значи, моментната аголна брзина е прв извод на аголниот пат по времето. Аголната брзина се мери во радијани во секунда (rad/s). Аголната брзина е позитивна ако аголот φ расте (движење во спротивна насока од стрелката на часовникот) и е негативна ако аголот φ се намалува (движење во насока на стрелката на часовникот). Аголната брзина на сите точки од тело кое ротира е иста бидејќи сите точки од телото за еднакви временски интервали опишуваат еднакви агли.

Ако моментната аголна брзина на телото се менува од ω_1 на ω_2 за временски интер-

вал Δt телото добива аголно забрзување. Средното аголно забрзување на телото ε_{sr} се дефинира како однос на промената на аголната брзина $\Delta\omega$ и временскиот интервал Δt

$$\varepsilon_{sr} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (5)$$

Моментното аголно забрзување ε се дефинира како гранична вредност на односот (5) кога $\Delta t \rightarrow 0$

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}. \quad (6)$$

Моментното аголно забрзување е прв извод на аголната брзина по времето. Аголното забрзување се мери во радијани во секунда на квадрат (rad/s²). Бидејќи аголната брзина за сите точки од телото што ротира е иста, од (6) следи дека и аголното забрзување за сите точки од телото ќе биде исто.

Значи аголната брзина ω и аголното забрзување ε ќе го карактеризираат ротационото движење на апсолутно тврдото тело, така што со нив може многу едноставно да се анализира овој вид на движење.

Ако аголното забрзување е константно тогаш ротационото движење на тврдото тело се вика *рамномерно променливо ротационо движење*. Ако во (5) се внесат почетните услови, односно во момент на време $t_1 = t_0 = 0$ нека аголната брзина имала вредност $\omega_1 = \omega_0$, а за време $t_2 = t$, $\omega_2 = \omega$, тогаш аголното забрзување ќе се запише како

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t} \quad (7)$$

од каде што за аголната брзина во момент на време t се добива

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t \quad (8)$$

така што за средната аголна брзина се добива

$$\omega_{sr} = \frac{\omega_0 + \omega}{2}$$

или

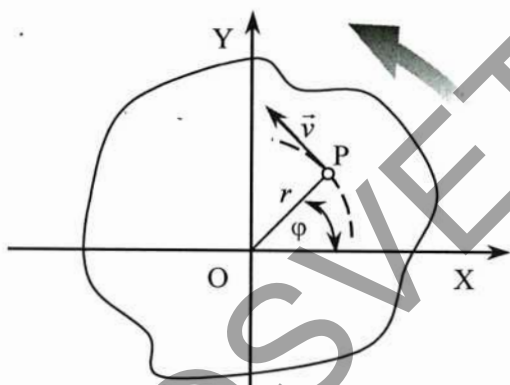
$$\omega_{sr} = \frac{\omega_0 + \omega_0 + \varepsilon t}{2} = \omega_0 + \frac{\varepsilon t}{2}. \quad (9)$$

Аголот на завртување на тврдото тело ќе го одредиме како

$$\varphi = \omega_{sr} t = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}. \quad (10)$$

Секогаш треба да се има предвид дека кога апсолутното тврдо тело ротира околу неподвижна оска тогаш секоја честица од телото се движи по кружница чиј центар лежи на оската на ротација и има линиска брзина v и линиско забрзување a . Овие линиски величини можат да се поврзат со аголните величини на следниов начин:

Бидејќи точката P се движи по кружница со радиус r (сл. 3), векторот на линиската



Сл. 3.

брзина $\vec{v}$ е насочен долж тангентата на кружната траекторија. Интензитетот на векторот на линиската брзина во точката P по дефиниција е прв извод на патот (лакот l) по времето

$$v = \frac{dl}{dt} \quad (11)$$

или

$$v = r \frac{d\varphi}{dt}$$

или

$$v = r\omega \quad (12)$$

Релацијата (12) покажува дека иако аголната

брзина за сите точки од телото е иста, линиската брзина е различна и се зголемува ако растојанието од оската на ротацијата се зголемува.

Аголното забрзување на тврдото тело кое ротира е поврзано со линиското забрзување, односно со тангенцијалната компонента на линиското забрзување. Од дефиницијата на тангенцијалното забрзување следи

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt}$$

или

$$a_\tau = r\varepsilon. \quad (13)$$

Бидејќи секоја точка од тврдото тело кое ротира се движи по кружница, таа ќе има и нормално забрзување

$$a_n = \frac{v^2}{r} = r\omega^2. \quad (14)$$

Така вкупното линиско забрзување има интензитет

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{r^2 \varepsilon^2 + r^2 \omega^4}. \quad (15)$$

ПРИМЕР 1. Тркало ротира со константно аголно забрзување $3,50 \text{ rad/s}^2$. Ако аголната брзина на тркалото во моментот $t_0=0$ била $2,00 \text{ rad/s}$; а) за колкав агол ќе се заврти тркалото за време од 2 s ? б) колку ќе изнесува аголната брзина на тркалото во момент на време $t=2 \text{ s}$?

Решение: а) аголот на завртување ќе го одредиме согласно релацијата

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

ако се внесат бројните вредности се добива $\varphi=11,0 \text{ rad}$.

б) аголната брзина ќе ја одредиме со

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t$$

така што внесувањето на бројните вредности дава $\omega=9,00 \text{ rad/s}$.

ПРИМЕР 2. Во почетокот на ротацијата завртувањето на едно замајно тркало е дадено

со равенката $\varphi = \frac{9}{32}t^3$. Да се најдат равенките за аголната брзина и аголното забрзување како функции од времето?

Решение: Аголната брзина е прв извод на аголот по времето така што $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{27}{32}t^2$.

Аголното забрзување е прв извод на аголната брзина по времето така што $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{27}{16}t$.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кога апсолутно тврдо тело во вид на диск ротира околу неподвижна оска, дали сите точки од дискот имаат иста аголна брзина?

2. Кои физички величини се користат за опишување на ротацијата на тврдо тело околу неподвижна оска?

3. Дали постои врска меѓу аголните величини и линиските величини на движење на материјалните точки на тврдото тело?

4. Да се најде линиската брзина на периферните точки на тркало кое ротира со фреквенција $n=33 \text{ min}^{-1}$ ако дијаметарот на тркалото е $d=30 \text{ cm}$.

(Одговор: $v=0,52 \text{ m/s}$)

5. Роторот на центрифуга од состојба на мирување почнува да ротира со некое забрзување така што за време од $5,0 \text{ min}$ достигнува фреквенција од 20.000 min^{-1} . Да се определи средното аголно забрзување на роторот.

(Одговор: $\varepsilon = 7,0 \text{ rad/s}^2$)

6. Грамофонска плоча ротира со фреквенција 33 min^{-1} и после време $20,0 \text{ s}$ застанува. Да се определи аголното забрзување на грамофонската плоча?

(Одговор: $\varepsilon = -0,173 \text{ rad/s}^2$)



Повеќе информации за ротационите движења побарајте на Интернет адресата:

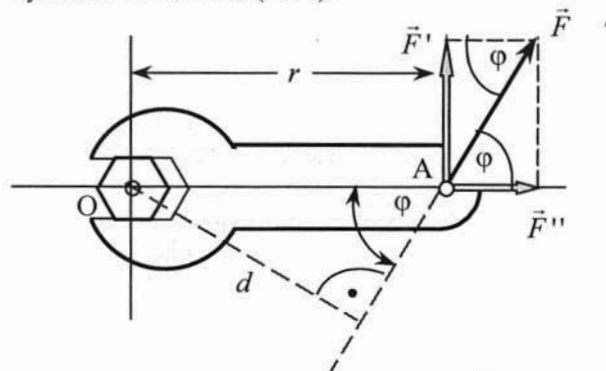
<http://pen.physik.uni-kl.de/cgi-bin/ps/search.pl>

2.2. ДИНАМИКА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ. МОМЕНТ НА СИЛАТА ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА

Се поставува прашање која е причината едно тврдо тело да почне да ротира околу неподвижна оска, односно телото да добие аголно забрзување. Како што постои аналогија во кинематиката меѓу равенките на движење за транслаторното и ротационото движење на тврдо тело, исто така може да се воспостави и аналогија меѓу динамиката на транслаторното и динамиката на ротационото движење.

На пример, првиот Њутнов закон за ротационото движење може да се искаже на следниов начин: тврдото тело ќе ротира со константна аголна брзина сè дотогаш додека на него не дејствува некоја надворешна сила која ќе му го промени движењето. Но, да се даде еквивалентен закон на вториот Њутнов закон за ротационото движење на тврдо тело, односно да се даде одговор на прашањето, кој му соопштува на тврдото тело аголно забрзување, е малку посложено. Имено, за да почне едно тело да ротира околу некоја оска треба да дејствува сила. Но, каков правец треба да има таа сила и каде треба да биде приложена?

Нека го разгледаме ротационото движење на француски клуч околу оска која поминува низ точката О (сл. 4).



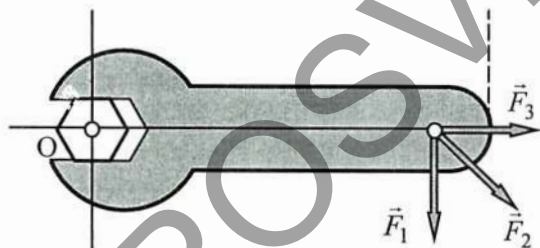
Сл. 4.

Францускиот клуч ротира околу неподвижната оска бидејќи на него во точка А

дејствуваме со сила $\vec{F}$, која зафаќа агол φ со оската на клучот. Но, не е единствена причина за ротацијата на телото само силата, туку физичката величина наречена момент на силата по однос на оската на ротација M . Моментот на силата по однос на оската на ротација е дефиниран со изразот

$$M = rF \sin \varphi = Fd \quad (1)$$

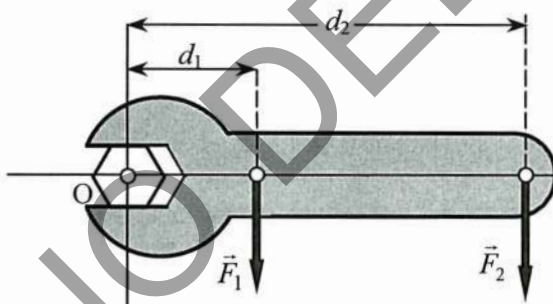
каде што r е растојание од оската на ротација до точката во која е приложена силата $\vec{F}$, а d е нормалното растојание од оската на ротација до правецот на дејството на силата $\vec{F}$. Од правоаголниот триаголник на сл. 4 се гледа дека $d = r \sin \varphi$. d се вика **крак на силата**. Значи моментот на сила по однос на оската на ротација е производ од силата и кракот на силата. Од сл. 4 се гледа дека силата $\vec{F}$ може да се разложи на две компоненти: $\vec{F}'$ - нормална на r и $\vec{F}''$ - хоризонтална во правец на r . Од релацијата (1) се гледа дека ротација ќе предизвика само компонентата $\vec{F}'$ чиј интензитет е $F \sin \varphi$. Компонентата $\vec{F}''$ нема да предизвика ротација бидејќи поминува низ точката O .



Сл. 5.

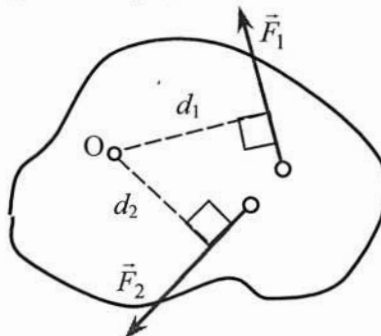
Така, на пример, ако дејствуваме со три сили еднакви по интензитет, но кои зафаќаат различни агли со хоризонталата (сл. 5), најголем момент на сила ќе предизвика силата $\vec{F}_1$ која зафаќа прав агол со хоризонталата, помал силата $\vec{F}_2$ која зафаќа некој агол, а момент на сила еднаков на нула ќе предизвика сила $\vec{F}_3$ бидејќи зафаќа агол 0° со хоризонталата, а

$\sin 0^\circ = 0$. Исто така, може да се покаже дека не предизвикува ротација на тврдо тело околу неподвижна оска силата чиј правец на дејство е паралелен со правецот на неподвижната оска на ротација. Силите кои предизвикуваат ротација на тврдо тело околу неподвижна оска лежат во рамнини нормални на оската на ротација и се поставени тангенцијално на кружницата што се добива со ротација на нападната точка на силата.



Сл. 6.

Согласно релацијата (1) моментот на сила по однос на оската на ротација зависи и од кракот на силата d . Така ако на францускиот клуч се дејствува со сила $\vec{F}_1$ на растојание d_1 од оската на ротација (сл. 6), а со сила $\vec{F}_2$ која има ист интензитет со $\vec{F}_1$, $F_1 = F_2$, на растојание $d_2 = 3d_1$, тогаш силата $\vec{F}_2$ ќе предизвика поголем момент на сила по однос на оската на ротација O , отколку силата $\vec{F}_1$. Ако на телото дејствуваат две или повеќе сили (сл. 7) тогаш секоја од нив ќе предизвика



Сл. 7.

ротација околу оската која поминува низ О. Во овој пример на сл. 7. $\vec{F}_1$ ќе го заротира телото во насока спротивна на насоката на движење на стрелката на часовникот, а $\vec{F}_2$ ќе го заротира во насока на движење на стрелката на часовникот. Знакот на моментот на силата во однос на оската на ротација по договор се зема за позитивен ако силата предизвикува ротација во насока спротивна на стрелката на часовникот, а се зема за негативен ако силата предизвикува ротација во насока на стрелката на часовникот. Така од сл. 7 се гледа дека $\vec{F}_1$ предизвикува $+F_1d_1$ момент на сила, додека силата $\vec{F}_2$, $-F_2d_2$, така што вкупниот момент на сила по однос на оска која поминува низ О е

$$M = M_1 + M_2 = F_1d_1 - F_2d_2. \quad (2)$$

Единицата за момент на сила по однос на оската на ротација во SI е N m (њутн по метар). Треба да се одбележи дека оваа единица (N m) е аналогна на единицата за енергија $1J=1N\,1m$, но овие две единици се сосема различни бидејќи карактеризираат две различни физички величини.

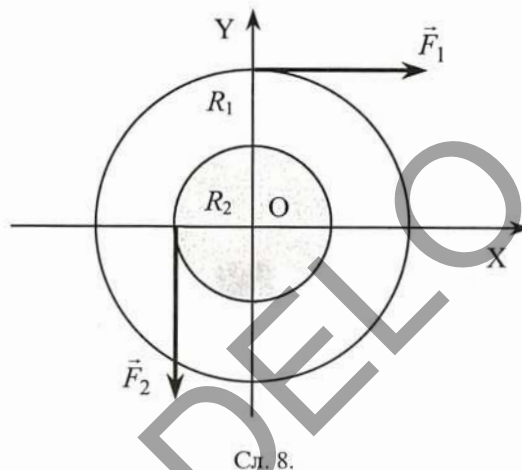
ПРИМЕР 1. На цилиндар со два жлеба на растојание R_1 и R_2 од оската на ротација се навиткани конци на кои се приложени сили: $\vec{F}_1$ која го заротира цилиндарот во насока на стрелката на часовникот и $\vec{F}_2$ која го заротира цилиндарот во насока спротивна на насоката на движење на стрелката на часовникот (сл. 8). Ако е $F_1=5,0\text{ N}$; $R_1=1,0\text{ m}$; $F_2=6,0\text{ N}$ и $R_2=0,50\text{ m}$ да се најде моментот на сила по однос на оската на ротација.

Решение: Вкупниот момент на сила по однос на оската на ротација е

$$M = M_1 + M_2 = R_2F_2 - R_1F_1$$

$$M = -2,0\text{ Nm}.$$

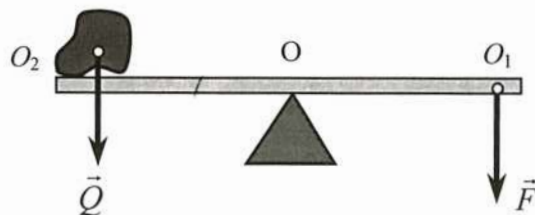
Знакот минус покажува дека цилиндарот ќе ротира во насока на стрелката на часовникот.



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

Моментот на сила по однос на оската на ротација наоѓа примена кај лостовите. Лост се нарекува секое тврдо тело кое може да ротира околу некоја оска или точка која се вика потпорна точка на лостот. Лостовите се прости машини со кои може да се пренесе дејството на силата така да се смени насоката на силата или да се смени големината на силата.

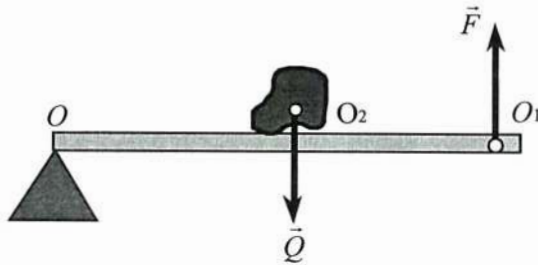
Според заемната положба на нападните точки на приложената сила $\vec{F}$ и товарот $\vec{Q}$ во однос на потпорната точка на лостот О, лостовите се делат на:



Сл. 9.

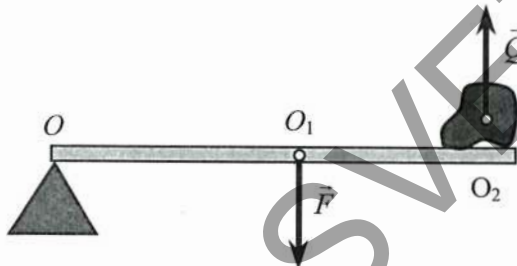
1. Лостови од прв вид кај кои потпорната точка О се наоѓа меѓу нападните точки на силата O_1 и товарот O_2 (сл. 9). Како примери за лостови од прв вид се: рамнокракиот двокрак лост кај вагите, ножиците, моторцанглите и др.

2. Лостови од втор вид кај кои потпорната точка O е поблиску до нападната точка на товарот O_2 отколку до нападната точка на силата O_1 (сл. 10). Како примери за лостови од втор вид се: рачната количка, клешти за ореви и др.



Сл. 10.

3. Лостови од трет вид кај кои потпорната точка O е поблиску до нападната точка на товарот O_2 (сл. 11). Како примери за лост од трет вид се: подлактицата на човекот, долната вилица на човекот, педала на машина за шиење и др.



Сл. 11.

Лостот е во рамнотежа ако се задоволени два услови:

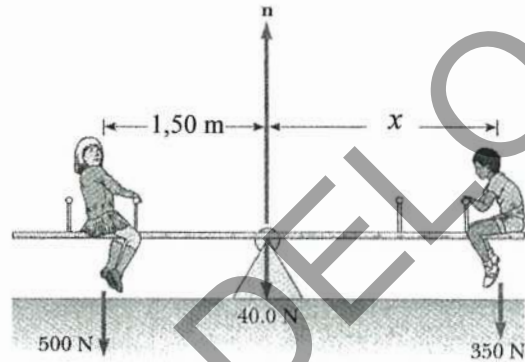
а) резултантата од сите надворешни сили што дејствуваат на лостот да биде еднаква на нула

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0, \quad (3)$$

б) резултантниот момент на силите по однос на оската на ротација да е еднаков на нула

$$\sum_{i=1}^n M_{iz} = 0. \quad (4)$$

ПРИМЕР 2. Хомогена штица е потпрена во точка O која е центар на масата на штицата.



Сл. 12.

На спротивните краеве на штицата (сл. 12) седат деца. Детето од лево тежи 500 N, а детето од десно тежи 350 N. Ако детето од лево, кое тежи 500 N, се наоѓа на растојание 1,50 m од точката O , да се одреди растојанието x , на детето со тежина 350 N, од точката O .

Решение: За да биде двокракиот лост во рамнотежа, алгебарскиот збир на моментите на силите треба да биде еднаков на нула. Согласно равенката (4) следи

$$F_1 d_1 - F_2 x = 0$$

$$x = \frac{F_1}{F_2} d_1$$

или

$$x = 2,14 \text{ m}.$$

Друг вид прости машини се макарите кои се, всушност, видоизменети лостови. Тие можат да бидат неподвижни, подвижни и сложени.

Неподвижната макара е диск со радиус R , на кој е направен жлеб на периферијата, (сл.13) кој ротира околу неподвижна оска O . Преку жлебот е префрлен конец на чиј еден крај се обесува товарот $\vec{Q}$ и чија нападна точка се наоѓа во точката O_2 , а на другиот крај се приложува сила $\vec{F}$ со нападна точка во точката O_1 .

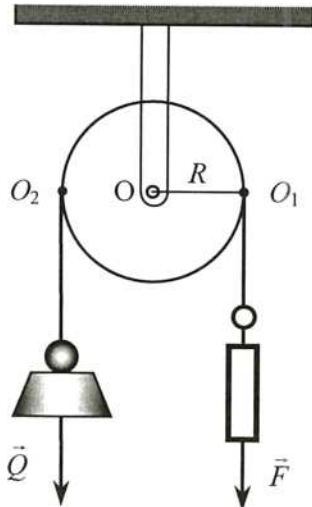
Ако се запише условот за рамнотежа (4) се добива

$$QR - FR = 0$$

или

$$F = Q \quad (5)$$

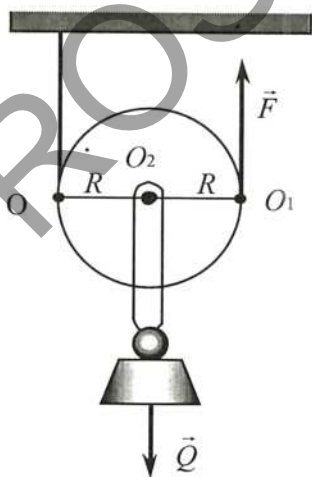
што значи дека се менува само насоката на силата.



Сл. 13.

Подвижната макара е диск со радиус R и со жлеб на кој е намотан конец, а оската на макарата може да се поместува во просторот (сл. 14). Условот за рамнотежа (4) за подвижната макара е

$$F 2R - QR = 0$$



Сл. 14.

или

$$F = \frac{Q}{2} \quad (6)$$

што значи дека со подвижната макара се добива во сила, но при тоа, за разлика од неподвижната макара, јагето треба да се влече двапати подалеку додека се подигне товарот. На тој начин се исполнува златното правило на механиката: ако се добива во сила се губи во пати.

Сложените макари претставуваат комбинација од подвижни и неподвижни макари со цел да се подигне поголем товар со помала сила.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои сили можат да предизвикаат ротација на тврдо тело околу неподвижна оска?

2. Дали може да се заротира едно тело околу неподвижна оска за ист агол, а при тоа да се приложат одделно паралелни сили со различен интензитет?

3. На краевите на една греда, со должина $l=10$ m, која ротира околу оска што поминува низ нејзината средина дејствуваат две сили со ист интензитет $F_1=F_2=100$ N, а спротивни насоки. Да се најде вкупниот момент на сила.

(Одговор: $M=1000$ Nm)

4. На едниот крај на ленијар, чија маса може да се занемари, со должина $l=1,25$ m виси топче со маса $m=0,17$ kg. Да се најде интензитетот на моментот на сила по однос на обесишната точка, којашто е на другиот крај на ленијарот, ако тој е отклонет за агол $\varphi=10^\circ$ од вертикалата. ($g=9,8$ m/s²)

(Одговор: $M=lm g \sin \varphi = 0,36$ N m)



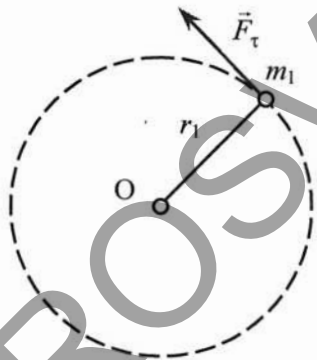
Повеќе информации за динамика на ротационо движење побарајте на Интернет адресата:

<http://pen.physik.uni-kl.de/cgi-bin/ps/search.pl>

2.3. ОСНОВЕН ЗАКОН НА ДИНАМИКАТА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ. МОМЕНТ НА ИНЕРЦИЈА

Ротација околу неподвижна оска може да предизвикаат само сили кои лежат во рамнини кои се нормални на оската на ротација и се поставени тангенцијално на кружницата што ја опишуваат точките во кои дејствуваат. За да се добие основниот закон на динамика на ротационото движење на тврдо тело околу неподвижна оска, доволно е да се разгледа движењето на една честица од тврдото тело со маса m_1 којашто лежи во рамнината нормална на оската на ротација и се движи по кружница со радиус r_1 под дејство на тангенцијалната компонента на силата $\vec{F}_\tau$ (сл. 15). Тангенцијалната сила и дава на честицата тангенцијално забрзување $\vec{a}_\tau$ така што

$$F_\tau = m_\tau a_\tau \quad (1)$$



Сл. 15.

Ако двете страни на (1) се помножат со r_1 се добива

$$F_\tau r_1 = m_1 a_\tau r_1. \quad (2)$$

Левата страна на (2) е момент на сила по однос на оската на ротација која минува низ точката О, додека во десната страна на (2) ќе го внесеме тангенцијалното забрзување $a_\tau = r_1 \epsilon$

и ќе добиеме

$$M_1 = m_1 r_1 \epsilon r_1 = m_1 r_1^2 \epsilon. \quad (3)$$

Производот на масата на честицата по растојанието на квадрат ($m_1 r_1^2$) се вика **момент на инерција** I_1 на честицата по однос на оската на ротација кој се јавува како мерка за инертност на честицата која учествува во ротационото движење. Така моментот на сила по однос на оската на ротација

$$M_1 = I_1 \epsilon \quad (4)$$

е пропорционален на аголното забрзување, а како константа на пропорционалност е моментот на инерција. Како што се гледа (4) е аналог на вториот Њутнов закон $F=ma$. Слични равенки можат да се напишат и за другите честици од тврдото тело кои се наоѓаат на различни растојанија од оската на ротација. Така вкупниот момент на сила по однос на оската на ротација на тврдото тело е

$$M = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \epsilon \quad (5)$$

каде што ϵ е надвор од сумата бидејќи е исто за сите честици,

додека $\sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + \dots + m_n r_n^2$, го

дава моментот на инерција на тврдото тело

$$I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2. \quad (6)$$

Единицата за момент на инерција во SI е kg m^2 (килограм по метар на квадрат). Моментот на инерција кај ротационото движење игра иста улога како масата кај транслаторното движење. Како што се гледа од (6) моментот на инерција не зависи само од масата на тврдото тело, туку и од тоа како е распоредена масата во однос на оската на ротација. Така, на пример, цилиндар со поголем дијаметар ќе има поголем момент на инерција од цилиндар со иста маса, но со помал дијаметар.

Ако релацијата (6) се внесе во релацијата (5), за вкупниот момент на сила по однос на оската на ротација на тврдо тело се добива релацијата

$$M = I\epsilon \quad (7)$$

којашто го претставува **основниот закон на ротационото движење на тврдо тело околу неподвижна оска.**

Моментот на инерција на хомогени тврди тела со правилна геометрирска форма може точно математички да се пресмета во однос на оска на ротација која е и оска на симетрија, по пат на интегрирање, додека моментот на инерција на нехомогени тврди тела и на тела со неправилна геометрирска форма се определува експериментално во однос на определена оска преку мерење на вкупниот момент на сила и аголното забрзување на телото. Во табела 2.1 се дадени моментите на инерција за некои хомогени тела со правилна геометрирска форма кај кои оската на ротација се совпаѓа со оската на симетрија на телото.

Пресметувањето на моментот на инерција околу произволна оска понекогаш може да биде тешко дури и за тврдо тело со извонредна симетрија. Во таков случај пресметувањата можат да се поедностават ако се примени **теоремата на паралелни оски** наречена уште и Штайнерова теорема. Оваа теорема гласи: Моментот на инерција I во однос на произволна оска е еднаков на збирот на моментот на инерција I_{CM} во однос на оска којашто поминува низ центарот на масата на телото и е паралелна со дадената оска, и производот на масата на телото M со квадратот на растојанието h меѓу оските

$$I = I_{CM} + Mh^2. \quad (8)$$

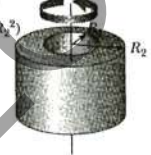
Значи, ако е познат моментот на инерција во однос на оската која поминува низ центарот на масата не е тешко да се определи моментот на инерција околу која било друга оска паралелна на неа.

Теоремата на паралелни оски ќе ја докажеме на следниов начин:

Нека избереме координатен систем со координатен почеток во центарот на маса и

нека I_{CM} е моментот на инерција во однос на Z оската од избраниот координатен систем, којашто поминува низ центарот на маса (сл. 16).

Табела 2.1.

Шуплив цилиндар $I_{CM} = MR^2$		Дебел шуплив цилиндар $I_{CM} = \frac{1}{2} M(R_1^2 + R_2^2)$	
Полн цилиндар или диск $I_{CM} = \frac{1}{2} MR^2$		Паралелепипед $I_{CM} = \frac{1}{12} M(a^2 + b^2)$	
Тенка прачка со оска на ротација низ центарот $I_{CM} = \frac{1}{12} ML^2$		Тенка прачка со оска на ротација на едниот крај $I = \frac{1}{3} ML^2$	
Хомогена топка $I_{CM} = \frac{2}{5} MR^2$		Шуплива топка $I_{CM} = \frac{2}{3} MR^2$	

Рамнината XY го дава напречниот пресек на тврдото тело. За да се најде моментот на инерција на тврдото тело во однос на оска паралелна на Z – оската, која поминува низ точка A со координати x_A и y_A , нека избереме произволна материјална точка од телото со маса m_i со координати x_i и y_i , чиј момент на инерција во однос на оската која поминува низ точката A е $I_i = m_i r_i^2$, каде r_i е растојание од точката A до материјалната точка со маса m_i дадено со $r_i^2 = (x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2$, така што за I_i се добива

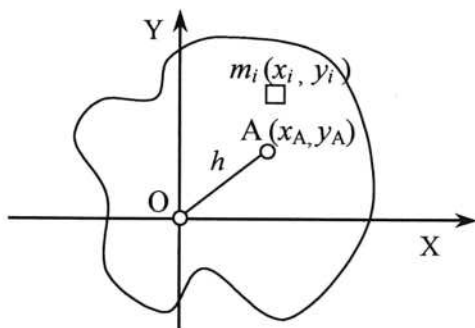
$$I_i = m_i [(x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2] \quad (9)$$

Ако се сумираат сите моменти на инерција на одделните честици од тврдото тело ќе се добие моментот на инерција на тврдото тело во однос на оска која поминува низ точката A

$$I = \sum_{i=1}^n m_i [(x_i - x_A)^2 + (y_i - y_A)^2]$$

или

$$I = \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2) - 2x_A \sum_i m_i x_i - 2y_A \sum_i m_i y_i + \sum_i m_i (x_A^2 + y_A^2). \quad (10)$$

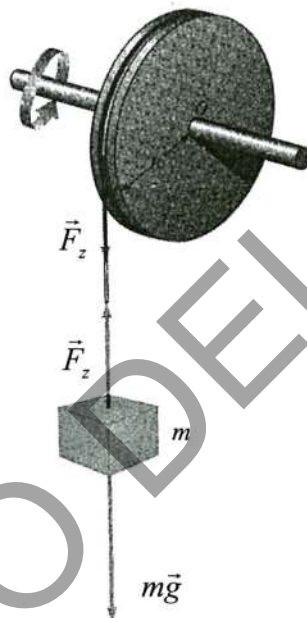


Сл. 16.

Првиот член на десната страна на релацијата (10) го дава моментот на инерција на телото во однос на центарот на масата $I_{CM} = \sum_i m_i (x_i^2 + y_i^2)$ бидејќи центарот на масата се совпаѓа со координатниот почеток. Вториот и третиот член се еднакви на нула бидејќи ги даваат координатите на центарот на

масата $x_{CM} = \frac{\sum_i m_i x_i}{M}$ и $y_{CM} = \frac{\sum_i m_i y_i}{M}$, додека согласно сл. 16. координатите на центарот на масата се еднакви на нула $x_{CM} = y_{CM} = 0$, бидејќи зедовме центарот на маса да се совпаѓа со координатниот почеток. Последниот член во (10) е еднаков на Mh^2 бидејќи вкупната маса на телото е $M = \sum_i m_i$, додека растојанието h на точката A од координатниот почеток O е $h^2 = x_A^2 + y_A^2$. Со тоа релацијата (8) е добиена и теоремата за паралелни оски е докажана.

ПРИМЕР 1. Тркало со радиус $R = 30,0$ cm и момент на инерција $I = 0,0900$ kgm², ротира околу хоризонтална оска без триење (сл. 17).



Сл. 17.

На тркалото е намотан конец на чиј слободен крај виси тег со маса $m = 0,500$ kg.

Колкава е силата на затегнување на конецот и аголното забрзување на тркалото?

Решение: Моментот на сила околу оската на тркалото е $M = RF_z$, каде F_z е силата на затегнување на конецот. Од друга страна $M = I\varepsilon$, I - момент на инерција на тркалото, ε - аголното забрзување. Од овие две равенки $I\varepsilon = RF_z$, од каде што

$$\varepsilon = \frac{RF_z}{I}. \quad (1)$$

Ако го примениме вториот Њутнов закон за тегот земајќи ги проекциите на силите на Y - оската насочена вертикално нагоре следи $\sum F_y = F_z - mg = -ma$, така што за линиското забрзување на тегот се добива

$$a = \frac{mg - F_z}{m}. \quad (2)$$

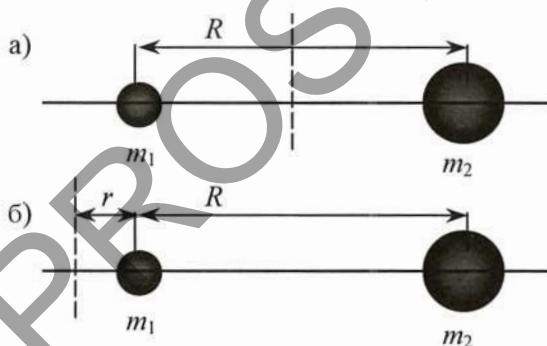
Користејќи ја врската меѓу линиското и аголното забрзување $a = R\varepsilon$ каде ја внесуваме

равенката (1) се добива $a = \frac{R^2 F_z}{I}$. Во оваа равенка ја земаме предвид равенката (2) така што имаме $\frac{mg - F_z}{m} = \frac{R^2 F_z}{I}$ од каде за силата на затегнување се добива $F_z = \frac{mg}{1 + \frac{mR^2}{I}} = 3,27 \text{ N}$. Аголното забрзување

ќе го одредиме од $\varepsilon = \frac{a}{R}$ каде што ќе ја внесеме (2) за линиското забрзување при што добиваме

$$\varepsilon = \frac{g}{R + \frac{I}{mR}} = 10,9 \text{ rad/s}^2.$$

ПРИМЕР 2. Две топки со маси $m_1 = 5,0 \text{ kg}$ и $m_2 = 7,0 \text{ kg}$ се прицврстени на лесна прачка, чија маса може да се занемари, на меѓусебно растојание $R = 4,0 \text{ m}$ (сл. 18). Да се пресмета моментот на инерција на системот кога тој ротира: а) околу оска која поминува на средината на растојанието меѓу телата; и б) околу оска која поминува на растојание $r = 0,50 \text{ m}$ лево од топката со маса m_1 .



Сл. 18.

Решение: а) Двете топки се на исто растојание од оската на ротација и моментот на инерција е

$$I_1 = m_1 \left(\frac{R}{2} \right)^2 + m_2 \left(\frac{R}{2} \right)^2 = 48 \text{ kg m}^2.$$

б) Моментот на инерција во овој случај е $I_2 = m_1 r^2 + m_2 (r + R)^2 = 143 \text{ kg m}^2$.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дали може едно тело со иста маса да има различен момент на инерција?

2. Дали може да се промени моментот на сила по однос на оска на ротација на едно тврдо тело иако аголното забрзување на телото не се менува?

3. Колкаво аголно забрзување ќе добие тркало со радиус $R = 33,0 \text{ cm}$ на кое е намотан конец на чиј крај дејствува сила $F_z = 15,0 \text{ N}$, ако моментот на силата на триење меѓу конечот и тркалото е $M_{tr} = 1,10 \text{ Nm}$? Моментот на инерција на тркалото е $I = 0,36 \text{ kg m}^2$.

(Одговор: $\varepsilon = 10,7 \text{ rad/s}^2$)

4. Молекулот на кислородот O_2 , којшто се состои од два атоми на кислород на меѓусебно растојание $d = 1,21 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, ротира околу оска која поминува низ средината на растојанието d . Да се определи моментот на инерција на молекулот ако масата на секој кислороден атом е $m = 2,66 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$.

(Одговор: $I = 1,95 \cdot 10^{-46} \text{ kg m}^2$)

5. Да се најде моментот на инерција на цилиндар со многу мала висина со радиус R_0 и маса M во однос на оска која поминува низ една периферна точка на цилиндарот, а е паралелна со неговата оска на симетрија?

(Одговор: $I = \frac{3}{2} MR_0^2$)



Повеќе информации побарајте на Интернет адресата:

<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl>

<http://www.schulphysik.de/>

2.4. МОМЕНТ НА ИМПУЛСОТ ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА

Основниот закон на ротационото движење на тврдо тело околу неподвижна оска е даден со релацијата

$$M = I\varepsilon \quad (1)$$

каде што моментот на сила M по однос на оската е пропорционален на моментот на инерција и аголно забрзување. Оваа релација се јавува како аналог на вториот Њутнов закон за транслаторното движење на тело $F = ma$, којшто можеше да се запише и во видот $F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt}$, каде што $p = mv$ е импулсот на телото. Аналогна равенка може да се напише и за ротационото движење на тврдо тело. Ако во (1) се земе предвид дека аголното забрзување е

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \text{ се добива}$$

$$M = I \frac{d\omega}{dt}$$

или

$$M = \frac{d(I\omega)}{dt} \quad (2)$$

Величината $I\omega$ се вика **момент на импулсот по однос на оската на ротација** и се бележи со L

$$L = I\omega \quad (3)$$

Така релацијата (2) може да се запише како

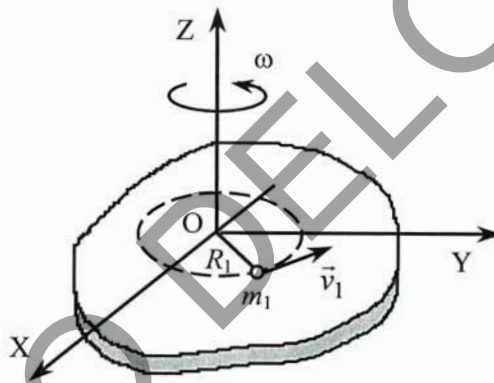
$$M = \frac{dL}{dt} \quad (4)$$

што значи моментот на силата по однос на оската на ротација е прв извод од моментот на импулсот по однос на оската на ротација. Оваа равенка е позната и под името *равенка на моменти*.

Равенката (3) може да се изведе и на друг начин: Нека тврдото тело ротира околу неподвижна оска која се совпаѓа со Z -оската (сл.19). Нека избереме една честица со маса m_1 која опишува кружница во XY -рамнината со радиус R_1 еднаков на растојанието од оската на

ротација на честицата. Честицата има линиска брзина v_1 , но ротира со аголна брзина ω . Линиската брзина, пак, е дадена со релацијата

$$v_1 = R_1 \omega.$$



Сл. 19.

Ако оваа равенка се помножи лево и десно со m_1 -масата на честицата се добива

$$m_1 v_1 = m_1 R_1 \omega. \quad (5)$$

Производот од левата страна на (5) е импулсот на честицата, така што се добива

$$p_1 = m_1 R_1 \omega.$$

Оваа равенка ја множиме лево и десно со R_1 и се добива

$$p_1 R_1 = m_1 R_1^2 \omega. \quad (6)$$

Производот од левата страна на (6) е физичката величина *моменти на импулсот на честицата по однос на оската* L_1 којшто претставува производ на импулсот на честицата по растојанието на честицата до оската на ротација

$$L_1 = p_1 R_1, \quad (7)$$

додека производот $m_1 R_1^2$ од десната страна на (6) е моментот на инерција на честицата I_1 . Така што (6) може да се запише во обликот

$$L_1 = I_1 \omega. \quad (8)$$

Моментот на импулсот на телото по однос на оската на ротација ќе го добиеме ако

ги сумираме моментите на импулсите на сите n - честици од телото

$$L = \sum_{i=1}^n L_i = \sum_{i=1}^n I_i \omega$$

или

$$L = I\omega, \quad (9)$$

каде што $I = \sum_i I_i$ е моментот на инерција на телото околу Z – оската која се совпаѓа со оската на ротација.

Единицата за моментот на импулсот на тело по однос на оска во SI е килограм по метар на квадрат врз секунда ($\text{kg m}^2/\text{s}$).

Знакот на моментот на импулсот е позитивен (+) ако телото ротира во насока обратна од насоката на движење на стрелката на часовникот, а знакот на моментот на импулсот е негативен (-) ако телото ротира во насока на движење на стрелката на часовникот.

ПРИМЕР 1. Електронот во водородниот атом се движи околу јадрото по кружна орбита со радиус $r = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ и линиска брзина $v = 5,00 \cdot 10^3 \text{ m/s}$. Да се пресмета моментот на импулсот на електронот ако неговата маса е $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

Решение: Моментот на импулсот на електронот ќе го одредиме од релацијата $L = pr = mvr$. Ако се внесат бројните вредности се добива

$$L = 24,05 \cdot 10^{-38} \text{ kg m}^2/\text{s}.$$



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дали ќе се промени моментот на импулсот по однос на оската на ротација ако се промени моментот на инерција на тело или систем од тела?
2. Искажи ја со зборови равенката на моментите.



Повеќе информации побарајте на Интернет адресата:
<http://www.schulphysik.de/>

2.5. ЗАКОН ЗА ЗАПАЗУВАЊЕ НА МОМЕНТОТ НА ИМПУЛСОТ НА ТЕЛО ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА

Моментот на импулсот на тело по однос на оската на ротација е важен поим во физиката. Во одредени услови моментот на импулсот, како и енергијата и импулсот, за изолиран систем се запазува. За да видиме кои се тие услови при кои моментот на импулсот се запазува, ќе тргнеме од формулата за вкупниот момент на сила по однос на оска на ротација $M = \frac{dL}{dt}$, при услов тој да е еднаков на нула

$$M = \frac{dL}{dt} = 0, \quad (1)$$

или

$$L = I\omega = \text{const}. \quad (2)$$

Имено, ако првиот извод од некоја величина е еднаков на нула тоа значи дека таа е константна.

Релацијата (1) го дава законот за запазување на моментот на импулсот на тело по однос на оската на ротација кој гласи: **Вкупниот момент на импулсот на тело што ротира околу неподвижна оска останува константен ако резултатниот момент на сили кој дејствува на телото е еднаков на нула.** Овој закон важи за изолиран систем.

Законот за запазување на моментот на импулсот може да се запише и во следниов облик

$$I\omega = I_0\omega_0 = \text{const}, \quad (3)$$

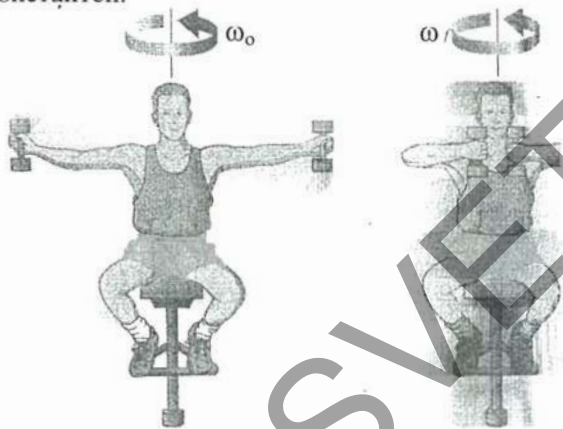
каде што I_0 и ω_0 се моментот на инерција и аголната брзина во некој почетен момент на време $t=0$, а I и ω се истите величини во конечен момент на време $t=t$. Тоа значи дека заемната положба на различни делови од телото може да се менува, при што ќе се менува и моментот на инерција, но при тоа ќе се менува и аголната брзина ω така што производот $I\omega$ ќе остане константен.

Постојат повеќе примери кај кои важи законот за запазување на моментот на импулсот:

ОПИТ 1. Ако еден ученик седи на столче кое може да ротира околу вертикална оска и во двете раширени раце држи по еден тег од 1 kg, системот (ученик + тегови + столче) што ротира ќе има момент на импулс $I_0\omega_0$. Ако ученикот ги доближи рацете до своето тело (сл. 20) при што столчето не престанува да ротира, тогаш моментот на инерција ќе се намали, но аголната брзина ќе се зголеми така што ќе важи равенството

$$I_0\omega_0 = I\omega.$$

Значи моментот на импулсот останува константен.



Сл. 20.

ОПИТ 2. Ученичка седи на ротационен стол и во рацете држи тркало од велосипед (сл. 21).



Сл. 21.

Во почетниот момент системот (ученик + стол + тркало од велосипед) мирува така што моментот на импулсот е еднаков на нула. Ако ученикот го доведе во ротација тркалото во насока на стрелката на часовникот, тогаш и столот со ученикот ќе почне да ротира, но во насока обратна од насоката на движење на стрелката на часовникот за да

остане моментот на импулсот и после промената еднаков на нула. Имено, ако моментот на импулсот на тркалото е $L_0 = I_0\omega_0$, а моментот на импулсот на ученикот + столот е $-L = -I\omega$, нивниот збир треба да биде еднаков на нула $+I_0\omega_0 + (-I\omega) = 0$, како што беше моментот на импулсот во почетниот момент.

ПРИМЕР 1. Хоризонтална платформа во форма на диск ротира во хоризонтална рамнина околу вертикална оска. Масата на платформата е $m_1 = 100 \text{ kg}$, а радиусот $R = 2,0 \text{ m}$. Човек со маса $m_2 = 60 \text{ kg}$, кој во почетниот момент се наоѓа на ивицата на платформата, полака се движи кон центарот на платформата. Кога човекот е на ивицата на платформата аголната брзина на системот е $2,0 \text{ rad/s}$.

Да се пресмета аголната брзина на системот кога човекот ќе дојде на растојание $0,50 \text{ m}$ од центарот на платформата. Моментот на инерција на дискот е $I_1 = \frac{m_1 R^2}{2}$.

Решение: Моментот на инерција на системот кога човекот е на ивицата на платформата е

$$I_0 = I_1 + I_2 = \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 R^2, \text{ а кога ќе дојде на}$$

$$\text{растојание } r \text{ е } I = I_1 + I_2' = \frac{m_1 R^2}{2} + m_2 r^2.$$

Бидејќи не дејствуваат надворешни моменти на сили на системот (човек + платформа) важи законот за запазување на моментот на импулсот по однос на оската

$$I_0\omega_0 = I\omega$$

$$\text{или } \left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2 \right) \omega_0 = \left(\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 r^2 \right) \omega$$

од каде се добива

$$\omega = \frac{\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 R^2}{\frac{1}{2} m_1 R^2 + m_2 r^2} \omega_0$$

или

$$\omega = 4,1 \text{ rad/s}.$$



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Човек стои во центарот на столче кое ротира околу вертикална оска и заедно со столчето ротира со фреквенција $n_1 = 0,5 \text{ min}^{-1}$. Моментот на инерција на телото на човекот во однос на оската на ротација е $I_0 = 1,6 \text{ kg m}^2$. Во раширените раце тој држи два тега секој со маса 2 kg , а растојанието меѓу теговите е $1,6 \text{ m}$. Колку завртувања во минута ќе врши системот човек + тегови ако тој ги спушти рацете така што растојанието меѓу теговите да биде $0,4 \text{ m}$? Моментот на инерција на столчето да се занемари.

(Одговор: $n_2 = 1,18 \text{ min}^{-1}$)

2. Платформа во форма на диск со радиус $1,5 \text{ m}$ и маса 180 kg се врти околу вертикална оска со фреквенција 10 min^{-1} . Во центарот на платформата стои човек со маса 60 kg и во тој момент не се зема предвид неговиот момент на инерција. Колкава линиска брзина ќе има човекот ако тој премине на ивицата на платформата? Моментот на инерција на дискот е $I = \frac{1}{2} m R^2$.

(Одговор: $v = 0,942 \text{ m/s}$)

3. Лизгач на мраз почнува да ротира со раширени раце со аголна брзина $\omega_1 = 12,57 \text{ rad/s}$. Ако моментот на инерција на лизгачот кога тој ќе ги доближи рацете до телото е 60% од моментот на инерција на лизгачот кога рацете му беа раширени, да се определи аголната брзина на лизгачот кога тој ќе ги доближи рацете до телото?

(Одговор: $\omega_2 = 21 \text{ rad/s}$)



Повеќе информации побарајте на Интернет адресата:

<http://pen.physik.uni-kl.de/cgi-bin/ps/search.pl>

2.6. КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ

Ротационото движење на тврдо тело околу неподвижна оска нема да биде комплетно опишано ако не се даде и изразот за кинетичка енергија на тврдото тело кое ротира. За таа цел ќе се навратиме на сликата 19 на која е прикажано движењето на една честица од телото со маса m_1 и линиска брзина v_1 . Кинетичката енергија на оваа честица е

$$E_{k1} = \frac{m_1 v_1^2}{2}. \quad (1)$$

Во оваа релација ќе ја внесеме познатата релација за линиската брзина $v_1 = R_1 \omega$, каде што ω е аголната брзина на телото, а R_1 е радиусот на кружницата што го опишува честицата

$$E_{k1} = \frac{m_1 R_1^2 \omega^2}{2}. \quad (2)$$

Кинетичката енергија на тврдото тело кое ротира околу неподвижна оска ќе се добие ако се сумираат кинетичките енергии на сите n честици од телото кои се движат во паралелни рамнини нормални на оската на ротација и на различни растојанија од оската на ротација R_n . Така се добива

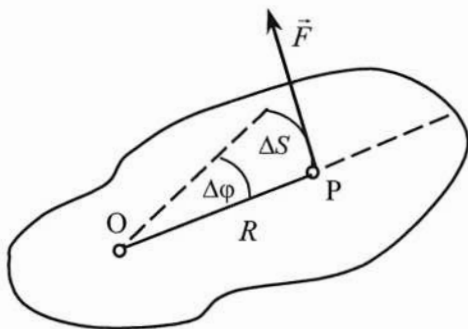
$$E_k = \sum_{i=1}^n E_{ki} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (m_i R_i^2) \omega^2$$

или

$$E_k = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (3)$$

каде што $I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2$ е моментот на инерција на тврдото тело во однос на оската на ротација. Значи кинетичката енергија на тврдото тело кое ротира околу неподвижна оска е еднаква на полузбирот од моментот на инерција и квадратот на аголната брзина на телото.

Веќе видовме дека тврдото тело може да ротира околу неподвижна оска ако на него дејствува момент на сила. При тоа се врши некоја работа. Таа работа ќе ја определеме на следниов начин: Нека надворешна сила $\vec{F}$ дејствува во точка P којашто се наоѓа на растојание R од оската на ротација (сл. 22).



Сл. 22.

При тоа се врши елементарна работа δA , бидејќи материјалната точка се движи по кружница, опишува лак ΔS и се завртува за мал агол $\Delta\phi$. Оваа работа ќе ја одредиме од општата формула

$$\delta A = F \Delta S \quad (4)$$

во којашто ќе внесеме за $\Delta S = R\Delta\phi$, па имаме

$$\delta A = FR\Delta\phi. \quad (5)$$

Бидејќи моментот на сила е $M=FR$ следи дека елементарната работа е

$$\delta A = M \Delta\phi. \quad (6)$$

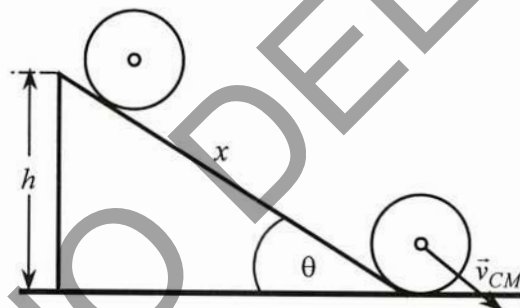
Ако ги сумираме сите елементарни работи кои се вршат при завртување на сите точки од тврдото тело за мал агол $\Delta\phi$, ќе ја добиеме вкупната работа на моментот на силата на тело кое ротира околу неподвижна оска M опишувајќи конечен агол ϕ

$$A = M \phi. \quad (7)$$

ПРИМЕР 1. Полна хомогена сфера се тркала низ наклонета рамнина под агол на наклон $\theta=30^\circ$ во однос на хоризонталата.

Наклонетата рамнина има должина $x=1$ m и висина h (сл. 23).

Да се пресмета линиската брзина на центарот на маса на сферата на дното на наклонетата рамнина. Моментот на инерција на полна хомогена сфера е $I_{CM} = \frac{2}{5}mR^2$, каде што m е масата, а R – радиусот на сферата. Триењето да се занемари. ($g=9,81$ m/s²)



Сл. 23.

Решение: Хомогената топка тркалајќи се по наклонетата рамнина врши ротационо движење околу оска која поминува низ центарот на маса и транслаторно движење, долж наклонетата рамнина. Затоа таа ќе има и кинетичка енергија на ротација и кинетичка енергија на translација

$$E_k = \frac{1}{2} I_{CM} \omega^2 + \frac{1}{2} m v_{CM}^2$$

каде што $v_{CM} = R\omega$ е линиската брзина на центарот на маса. Внесувањето на $\omega = \frac{v_{CM}}{R}$ во претходната релација дава

$$E_k = \frac{1}{2} \left(\frac{I_{CM}}{R^2} + m \right) v_{CM}^2.$$

Бидејќи топката поаѓа од состојба на мирување од висина h во однос на подлогата, на таа висина поседува потенцијална енергија $U = mgh$. Од законот за запазување на механичката енергија следи дека кинетичката енергија е еднаква на потенцијалната енергија

$$\frac{1}{2} \left(\frac{I_{CM}}{R^2} + m \right) v_{CM}^2 = mgh$$

од каде што се добива

$$v_{CM} = \left(\frac{2gh}{1 + \frac{I_{CM}}{mR^2}} \right)^{1/2}.$$

Ако овде се внесе релацијата за $I_{CM} = \frac{2}{5}mR^2$ и се преуреди се добива

$$v_{CM} = \left(\frac{10}{7}gh \right)^{1/2}.$$

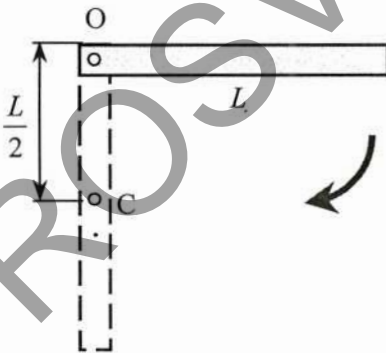
Висината $h = x \sin \theta$, така што внесувањето на оваа равенка во претходната дава

$$v_{CM} = \left(\frac{10}{7}gx \sin \theta \right)^{1/2}.$$

Ако се внесат бројните вредности се добива

$$v_{CM} = 7 \text{ m/s}.$$

ПРИМЕР 2. Хомогена прачка со должина $L=1\text{m}$ и маса m ротира околу оска која поминува низ едниот крај на прачката. Во почетниот момент прачката се наоѓа во хоризонтална положба (сл. 24). Да се најде аголната брзина на прачката во најниската положба. ($g=9,81\text{m/s}^2$; $I=mL^2/3$)



Сл. 24.

Решение: Ако се примени законот за запазување на енергијата следи дека потенцијалната енергија, што ја има прачката во однос на најниската положба на центарот на маса C , се претвора во кинетичка енергија на ротација во таа положба

$$mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} I \omega^2.$$

Ако овде се внесе моментот на инерција на прачката $I=mL^2/3$ се добива

$$mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} \frac{1}{3} mL^2 \omega^2$$

од каде што аголната брзина е

$$\omega = \sqrt{\frac{3g}{L}}.$$

Внесувањето на бројните вредности дава $\omega=5,42 \text{ rad/s}$.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Обрач со маса 2 kg и надворешен радиус 5 cm се тркала по наклонета рамнина со должина 2 m и агол на наклон 30° . Да се определи бројната вредност на моментот на инерција на обрачот ако неговата линиска брзина на крајот на наклонетата рамнина е $3,3 \text{ m/s}$. ($g=9,81 \text{ m/s}^2$)

(Одговор: $I=4 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2$)

2. Тркало од автомобил со момент на инерција $I=100 \text{ kg m}^2$ ротира со аголна брзина $\omega=20\pi \text{ rad/s}$. Тоа се запира со механизам за кочење. Колкава енергија во вид на топлина ќе се ослободи кога тркалото ќе застане?

(Одговор: $Q=1,97 \cdot 10^5 \text{ J}$)

3. Топка се тркала по хоризонтален пат со брзина $7,2 \text{ km/h}$. На какво растојание може да се искачи топката по наклонетата рамнина за сметка на нејзината кинетичка енергија, ако наклонетата рамнина има наклон 10° на секои 100 m ? ($g=9,81 \text{ m/s}^2$, $I=2mR^2/5$)

(Одговор: $l=2,86 \text{ m}$)



Повеќе информации за кинетичка енергија на ротационото движење побарајте на Интернет адресата:

<http://www.wug.physics.uiuc.edu/Lect15/sld005.htm>

2.7. АНАЛОГИЈА ПОМЕЃУ ВЕЛИЧИНИТЕ И ЗАКОНИТЕ ПРИ ТРАНСЛАТОРНО И РОТАЦИОНО ДВИЖЕЊЕ

При кинематичкото и динамичкото опишување на ротационото движење на тврдо тело околу неподвижна оска, често пати се наврќаваме на основните равенки на транслаторното движење на материјална точка.

Имено, ние правевме аналогија меѓу основните равенки на транслаторното движење на материјална точка и основните равенки на ротационо движење на тврдо тело околу неподвижна оска, бидејќи тврдото тело може да се разгледува како множество од n - материјални точки. За да се сфатат полесно различните равенки кај ротационото движење на тврдо тело околу неподвижна оска, нив ќе ги дадеме заедно со аналогните изрази за транслаторното движење на тело или материјална точка, кои веќе одамна ги имате изучено, во табела 2.2.

Табела 2.2.

Ротационо движење на тврдо тело околу неподвижна оска	Транслаторно движење на тело
Агол на завртување φ	Изминат пат s
Аголна брзина $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$	Линиска брзина $v = \frac{ds}{dt}$
Аголно забрзување $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$	Линиско забрзување $a = \frac{dv}{dt}$
Момент на инерција I	Маса m
Момент на сила $M = I\varepsilon$	Сила $F = ma$
Ако е рамномерно променливо ротационо движење $\varepsilon = \text{const} \begin{cases} \omega = \omega_0 + \varepsilon t \\ \varphi - \varphi_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \varepsilon t^2 \end{cases}$	Ако е рамномерно забрзано праволиниско движење $a = \text{const} \begin{cases} v = v_0 + at \\ s - s_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \end{cases}$
Момент на импулсот по однос на оска $L = I\omega$	Импулс на тело $p = mv$
Основна равенка на ротационото движење на тврдо тело $M = I\varepsilon = \frac{dL}{dt}$	Основна равенка на динамиката на транслаторното движење $F = ma = \frac{dp}{dt}$
Кинетичка енергија на ротационото движење $E_k = \frac{1}{2} I\omega^2$	Кинетичка енергија на транслаторното движење $E_k = \frac{1}{2} mv^2$
Работа при ротација $A = M\varphi$	Работа при транслација $A = Fs$

3. ОД АТОМОТ ДО КОСМОСОТ

АТОМИ. МОЛЕКУЛИ

КВАНТИ. ФОТОНИ

ДУАЛНА ПРИРОДА НА ЧЕСТИЦИТЕ. ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА

ХАЈЗЕНБЕРГОВ ПРИНЦИП

КВАНТНО-МЕХАНИЧКИ МОДЕЛ НА АТОМОТ. АТОМИ СО ПОВЕЌЕ

ЕЛЕКТРОНИ. СПИН

СПЕКТРОСКОПИЈА

ЛУМИНИСЦЕНЦИЈА

МОЛЕКУЛИ. МОЛЕКУЛАРНИ СИЛИ

АТОМСКО ЈАДРО

МОДЕЛИ НА АТОМСКОТО ЈАДРО

ЕЛЕМЕНТАРНИ ЧЕСТИЦИ. ФУНДАМЕНТАЛНИ ЧЕСТИЦИ

АНТИЧЕСТИЦИ И ДВИЖЕЊЕ НА ЕЛЕМЕНТАРНИ ЧЕСТИЦИ

ВИДОВИ ЗАЕМОДЕЈСТВА

СТРУКТУРА НА ВСЕЛЕНАТА

ХИЕРАРХИСКА ОРГАНИЗАЦИЈА ОД ЕЛЕМЕНТАРНИ ЧЕСТИЦИ ДО

ГИГАНТСКИ ГАЛАКСИИ

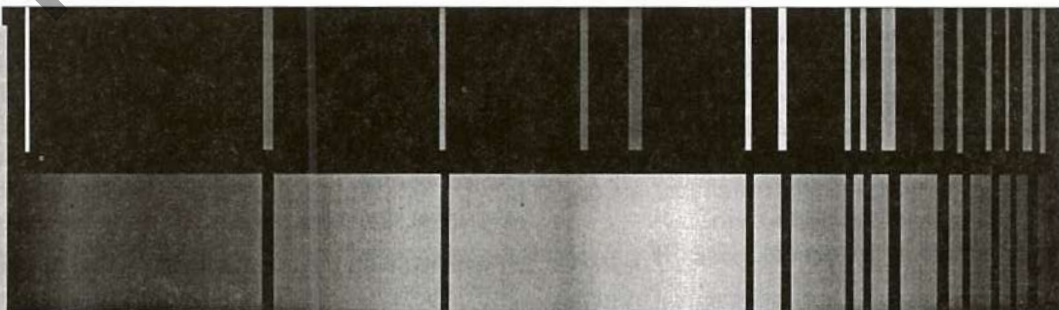
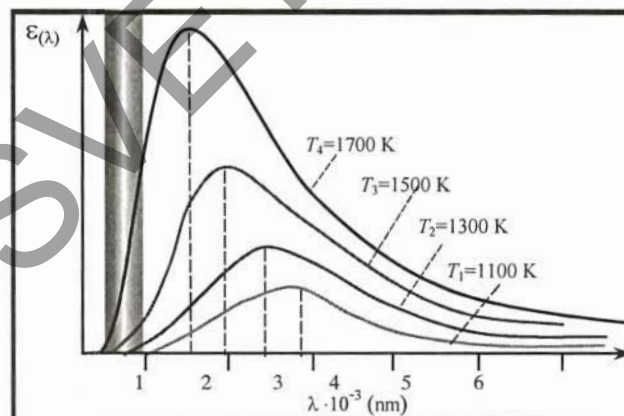
ЗРАЧЕЊЕ ВО ВСЕЛЕНАТА

СТЕЛАРНА ЕВОЛУЦИЈА

ОПРЕДЕЛУВАЊЕ МАСА НА СВЕЗДИТЕ

ИНТЕРСТЕЛАРЕН ПРОСТОР

ВО СВЕТОТ НА ГАЛАКСИИТЕ



3. АТОМИ И МОЛЕКУЛИ

3.1. КВАНТИ

Во почетокот на 20 век се појавија две научни теории, и тоа: **Ајнштајновата теорија за релативноста и квантната теорија**, кои го потресоа светот на физичарите. За разлика од специјалната теорија на релативноста, која е создадена за краток временски период и е дело само на најголемиот досегашен физичар А.Ајнштајн, развојот на квантната теорија барала неколку децении и за нејзиниот развој придонесоа многу научници. Таа се роди во 1900 година со **Планковата квантна хипотеза** и својата кулминација ја достигна во средината на 1920 година со **квантната механика на Шредингер и Хајзенберг** која е ефективна во објаснувањето на структурата на материјата.

Планкова квантна хипотеза

Една од најважните задачи на класичната физика на крајот на XIX век беше проблемот за теориско објаснување на законитоста на топлинското зрачење – електромагнетното зрачење што го емитува апсолутно црно тело. Некои од тие законитости било можно да се постават, а притоа да не се разгледува природата на електромагнетното зрачење ниту, пак, интеракцијата на зрачењето со материјата.

Максвеловата електромагнетна теорија предвидува дека осцилирањето на електричните полнежи создава електромагнетни бранови, и зрачењето емитувано од загреано тело би требало да одговара на осцилирањето на електричните полнежи во молекулите на материјалот. Иако тоа би било објаснување од каде зрачењето доаѓа, но таа точно не ја предвидува спектралната распределба на зрачењето.

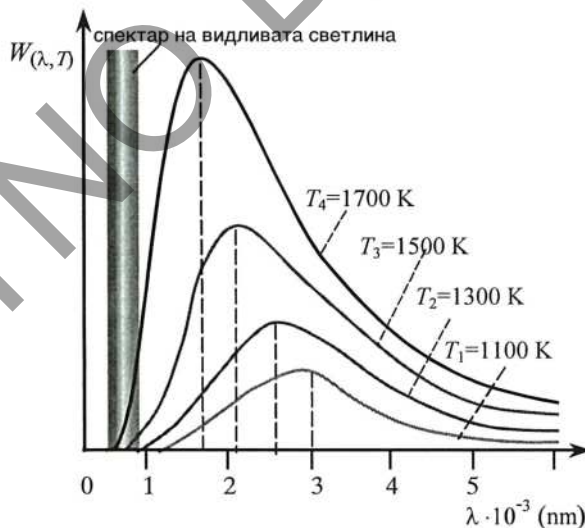
Законите дадени врз основа на термодинамички разгледувања: Кирхофов закон, Штефан – Болцманов закон, Винов закон, се однесуваат на карактеристиките на спектралната емисиона моќ и спектралната апсорпциона моќ на апсолутно црно тело.

Спектралната емисиона моќ $W_{(\lambda,T)}$ на апсолутно црно тело на определена темпера-

тура T е дадена со енергијата на зрачењето ΔE емитувана во единица време од единица површина на површината на телото во тесен интервал на бранови должини меѓу λ и $\lambda + \Delta\lambda$, т.е. во спектрален интервал $\Delta\lambda$. Според тоа:

$$W_{(\lambda,T)} = \frac{\Delta E}{\Delta\lambda} \quad (1)$$

Единицата за спектралната емисиона моќ по релацијата (1) е $W/m^2 \cdot nm$. Вкупната емисиона моќ на апсолутното црно тело W_T сега ќе биде добиена со собирање на енергијата на зрачењето по целиот спектар на бранови должини λ , односно фреквенции f .



Сл.1. Криви за распределбата на емисионата моќ на апсолутно црно тело

На сл. 1 се дадени експериментални криви за распределба на емисионата моќ за определена температура на апсолутно црно тело по бранови должини.

Веднаш по добивањето на експерименталните криви за распределбата на енергијата, што ја зрачи апсолутното црно тело по бранови должини (сл. 1), повеќе научници се зафатиле со проблемот за изнаоѓање на аналитички израз за функцијата $W_{(\lambda,T)}$, кој би одговарал на експерименталните криви. При тоа апсолутното црно тело е разгледувано како систем од

голем број на електромагнетни осцилатори, коишто осцилираат со различни фреквенции.

Тргувајќи од класичните претстави за континуирано зрачење на енергијата и законот за рамномерна распределба на енергијата по степени на слобода на линеарниот осцилатор, 1896 година В. Вин изведе аналитички израз за функцијата $W_{(\lambda,T)}$ во овој облик:

$$W_{(\lambda,T)} = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-c_2/\lambda T}, \quad (2)$$

каде што c_1 и c_2 - константи (нивното значење ќе биде дадено понатаму), λ - брановата должина на емитираните електромагнетни бранови при определена температура T на апсолутното црно тело и e - Неперовиот број (основа на природен логаритам). Релацијата (2) добро се согласува со податоците добиени од експериментите само во областите на зрачењето од апсолутното црно тело со мали бранови должини (големи фреквенции).

Англиските физичари Л. Релеј и Џ. Џинс, исто така, врз основа на сфаќањето за континуираноста на енергијата при зрачењето, кон крајот на 19 век извеле аналитички израз за функцијата $W_{(\lambda,T)}$.

Тргувајќи од наведените класични претстави за рамномерна распределба на енергијата по степени на слобода во даден систем, Л. Релеј и Џ. Џинс за спектралната емисиона моќ на апсолутното црно тело $W_{(\lambda,T)}$ ја извеле следнава релација:

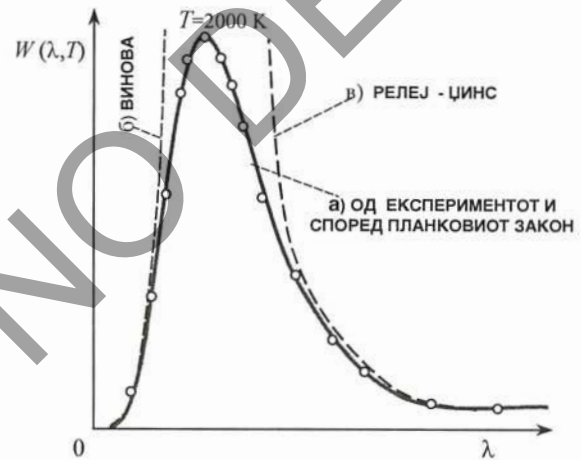
$$W_{(\lambda,T)} = \frac{2\pi c}{\lambda^4} kT, \quad (3)$$

каде што c - брзината на светлината во вакуум; k - Болцманова константа ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K).

Производот kT е средната енергија на линеарниот осцилатор за определена фреквенција на осцилирање и температура. Да се потсетиме дека средната енергија на хармонски осцилатор е збир од неговата средна кинетичка енергија $E_k = kT/2$ и неговата средна потенцијална енергија $U = kT/2$.

Релацијата (3) е позната како Релеј-Џинсова, и таа добро се согласува со пода-

тоците добиени од експериментите само во областите на зрачењето од апсолутното црно тело со големи бранови должини, односно со мали фреквенции. Значи, проблемот на топлинското зрачење би бил успешно решен кога би се напишала таква теориска релација за $W_{(\lambda,T)}$ чиј график би се совпаѓал со експерименталните криви на сл. 1. Добиените вредности за $W_{(\lambda,T)}$, според релациите (2) и (3) графички се претставени на сл. 2.



Сл. 2. Криви за распределба на спектралната емисиона моќ добиена врз основа на: а) експерименталните резултати и Планковата релација, б) Виновата, в) Релеј-Џинсовата

Може да се вочи дека само на делови се поклопуваат со експерименталната крива. И тоа, релацијата на Вин правилно го опишува зрачењето на апсолутното црно тело само во спектарот на малите бранови должини (големи фреквенции), во ултравиолетовата област, а релацијата на Релеј-Џинс, само во спектарот на големите бранови должини (мали фреквенции) - во инфрацрвената област.

По релацијата (3) $W_{(\lambda,T)}$ монотонно расте со намалувањето на брановата должина на зрачењето, нема максимум, а вкупната емисиона моќ на апсолутното црно тело при која било температура станува бесконечна ($W_T = \infty$). Меѓутоа, по Штефан-Болцмановиот W_T закон треба да биде пропорционална со четвртиот

степен од апсолутната температура, т.е. треба да биде - конечна величина. Тоа, впрочем, се гледа и од графикот на сл. 2: плоштината што се наоѓа помеѓу апсцисната оска и кривата добиена по релацијата (3) на Релеј-Џинс е бесконечно голема во областа на ултра-виолетовото зрачење. Овој резултат е наречен "**ултравиолетовата катастрофа**", бидејќи станува збор за катастрофа (неуспех) на дотогашните (класичните) сфаќања во физиката.

Значи работите на Л. Релеј и Џ. Џинс јасно покажаа дека примената на класичната физика за испитување на распределбата на израчената енергија по бранови должини од апсолутното црно тело дава апсурдни резултати коишто се противречни на законот за одржувањето на енергијата.

Во 1900 година познатиот германски физичар М. Планк најде релација, во почетокот чисто по емпириски пат, по којашто добиените резултати за спектралната емисиона моќ на апсолутното црно тело се во согласност со експерименталните податоци, и која во двата гранични случаи (за долгите и кратките бранови на зрачењето) поминува соодветно во Релеј-Џинсовата и Виновата релација.

Планковата релација за спектралната емисиона моќ на апсолутното црно тело $W_{(\lambda,T)}$ има форма:

$$W_{(\lambda,T)} = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1}, \quad (4)$$

каде што c_1 и c_2 се истите константи како во Виновата релација (2).

Во неуспехот да се добие аналитички израз за функцијата $W_{(\lambda,T)}$ по теориски пат, со примена на законите од класичната физика, кој би одговарал на експерименталните криви на сл. 2 се наоѓаат длабоки причини. Тие произлегуваат од тоа што процесите во микросветот не се потчинуваат на законите од класичната физика. Така, во последните денови на 19 век, кога се случи првиот неуспех на класичната физика, се роди и една нова физика. Таа физика започнува со **Планковата хипотеза за дисконтинуираноста на енергијата**.

М. Планк анализирајќи го методот по кој Л. Релеј и Џ. Џинс дошле до релацијата (3), дошол до заклучок дека при тоа не е во прашање начинот на нејзиното изведување, туку една од основните претпоставки врз која се заснова класичната физика, а тоа е хипотезата за **континуирано (непрекинато) емитирање на енергијата**, т.е. емитирање во какви било произволни мали или големи количини (износи) на енергија. Меѓутоа, според класичната физика енергијата на кој било систем може да се менува континуирано (непрекинато) и при тоа тој може да прима какви било вредности.

На своето предавање во Берлинската Академија на 14 декември 1900 година М. Планк ја отфрлил хипотезата за континуирано емитирање на енергијата и место неа ја вовеле смелата хипотеза за **дисконтинуирано емитирање на енергијата**.

Според Планк емитирањето на електромагнетното зрачење на атомите и молекулите се врши дисконтинуирано во одредени износи "порции", кои тој ги нарекува **кванти**.

Планк претпостави дека енергијата E на зрачењето на атомите може да има само одредени големини кои се дадени со релацијата:

$$E = n hf, \quad n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots \quad (5)$$

каде што f е фреквенцијата на осцилирањето на атомот, h е константа, а n е цел број.

Оваа идеја е наречена **Планкова квантна хипотеза**. Според неа енергијата на зрачењето E може да има само вредности, hf , $2hf$, $3hf$, итн. **Енергијата се зрачи дисконтинуирано, велиме дека таа е квантувана**.

Тоа значи дека енергиите на осцилаторот – атомот можат да бидат $E=hf$, или $2hf$, или $3hf$, итн; но не може да постојат осцилации со енергии меѓу овие вредности. Имено, енергијата не може да биде во какви било износи, како што се веруваше дотогаш, туку е квантувана во одредени износи. Најмалиот можен износ на енергија (hf) е наречен **квант енергија**.

Средната енергија $\bar{E}$ за систем составен од такви осцилатори (атоми), наместо $\bar{E} = kT$ е:

$$\bar{E} = \frac{hf}{e^{hf/kT} - 1} = \frac{hc}{\lambda e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (6)$$

Во релацијата (6) фреквенцијата f е заменета со брановата должина λ на зрачењето ($f=c/\lambda$), c - брзина на светлината во вакуум. Од релацијата (3) и (6) се добива Планковата релација за спектралната емисиона моќ на апсолутно црно тело:

$$W_{(\lambda,T)} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (7)$$

Величината h која за првпат ја вовел Планк, и прв по експериментален пат ја определил нејзината вредност, наречена **Планкова константа** е нова фундаментална константа на природата. Таа има димензии на производ на енергија по време. По современите податоци $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js

Врз основа на својата хипотеза за дисконтинуирано емитување на енергијата М. Планк на емпириска релација (4) ѝ даде свое ново објаснување, ги определи константите c_1 и c_2 , чии вредности се:

$c_1 = 2\pi hc^2$; $c_2 = \frac{hc}{k}$, во кои h - Планковата константа; c - брзината на светлината во вакуум; k - Болцманова константа.

Планковата релација (7) дава теориски резултати кои прекрасно се совпаѓаат со експерименталните резултати за распределбата на енергијата на апсолутното црно тело при која било температура.

На сл. 2, исто така, графички се претставени добиените вредности за $W_{(\lambda,T)}$ по Планковата релација (7).

Од Планковата релација лесно се добиваат веќе познатите, Штефан-Болцмановиот и Виновниот закон за поместување, исто така од неа се добиваат и теориските вредности за константите σ , и b (види физика за III година).

Така, 1900 година, кога првпат беше формулирана хипотезата за енергетските кванти, беше не само последна година на 19 век, туку и почеток на нова ера во развитокот на теориската физика. Врз основа на нови откритија беше создадена нова механика за опишување на поведението на честичките од

микросветот (атоми, молекули) наречена **квантна механика**. Таа е микроскопска теорија и како таква е поопшта во однос на **класичната Њутнова механика**.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Напишете ги Виновата и Релеј-Џинсовата релација и објаснете врз кој класичен закон се изведени.

2. Дали Виновата и Релеј-Џинсовата релација се во согласност со експерименталните податоци за спектралната емисиона моќ на апсолутното црно тело?

3. Кој резултат е наречен "ултравиолетовата катастрофа"?

4. Која хипотеза Планк ја отфрли на своето предавање во 1900 година, која ја воведо и како гласи таа?

5. Според Планковата квантна хипотеза кои вредности може да ги има енергијата на зрачењето и какви може да бидат енергиите на осцилаторите (атомите)?

6. Напишете ја релацијата на средната енергија на осцилаторите, според Планковата хипотеза и класичната физика.

7. Колку изнесува најмалиот износ на енергија и како е наречен?

8. Како е наречена величината h , што претставува, какви димензии има и колкава е нејзината вредност?

9. Пресметајте ги вредностите за константите c_1 и c_2 , што влегуваат во Планковата формула (4), ако $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js; $c = 3 \cdot 10^8$ m/s; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

В. Вун (Wilhelm Karl Werner Wien, 1864-1928) во 1911 година добил Нобелова награда за физика.

Л. Релеј (John William Strutt, lord Rayleigh, 1842-1919) во 1904 година Нобеловата награда за физика ја подели со В. Рамзи.

М. Планк (Max Karl Ernest Ludwig Planck/ 1858-1947), германски физичар, добил Нобелова награда за физика во 1918 година.

3.2. ФОТОНИ

Максвеловата електромагнетна теорија најде на сериозни тешкотии при објаснувањето на законите за надворешниот фотоефект. Овие тешкотии ги надмина А. Ајнштајн кој во 1905 година ја создаде **квантната теорија за светлината** и на законите за надворешниот фотоефект им даде **квантно објаснување**.

А.Ајнштајн понатаму ја проширил Планковата идеја за квантен карактер на енергијата што ја зрачат атомите од телата како хармониски осцилатори. Тоа проширување се состои во тоа што тој претпостави дека *не само енергијата што ја зрачат телата е квантизирана, туку и самојто електромагнетно зрачење има дискретна структура*, т.е. се состои од одделни кванти на енергија:

$$E = hf, \quad (1)$$

каде што h е Планковата константа; f е фреквенцијата на определен квант.

Според А. Ајнштајн, светлината која има електромагнетна природа не само што се зрачи, но, исто така, и се распространува во просторот и се апсорбира од супстанциите во вид на одделни "порции" на енергија - кванти на електромагнетното зрачење. Според тоа, распространувањето на електромагнетното зрачење треба да се разгледува не како континуиран процес, но како поток од локализирани во просторот **дискретни кванти**, кои се движат со брзина c на светлината во вакуум. Тие кванти на електромагнетното зрачење (на светлината) се наречени **свеллински кванти** или **фотони**. Ова значи дека светлината за која постојат непобитни докази (интерференција, дифракција, поларизација) има бранова природа, треба во дадени случаи да се разгледува и како поток од честици (корпускули) - наречени фотони.

Енергијата на секој фотон зависи од неговата фреквенција f и е определена со релацијата (1). За монохроматска светлина со фреквенција f сите фотони поседуваат иста енергија, еднаква на hf . Сега процесот на апсорпција на светлината од супстанциите се

објаснува со тоа што фотоните ја предаваат **целата своја енергија** одеднаш на честицата од супстанцијата. Тоа значи дека процесот на апсорпцијата на светлината протекува **дисконинуирано** како во просторот, така и во текот на времето. Со други зборови можат да се емитуваат и апсорбираат само цели фотони. *Фотоните не можат да бидат емитувани или апсорбирани на делови.*

Овие идеи на А. Ајнштајн влегоа во основата на т.н. **квантна теорија за светлината**, која овозможи успешно да се објаснат законите на надворешниот фотоефект и многу други оптички појави (види физика за III година).

При објаснувањето на квантните оптички појави досега е користена само една карактеристика на фотонот - неговата енергија $E_{\text{ф}} = hf$. Секако покрај енергијата фотонот, како корпускула од посебен вид, мора да има своја **маса и импулс**.

Релацијата за масата на фотонот може да биде добиена согласно специјалната теорија на релативноста, по релацијата $E = mc^2$, која ја дава заемната врска меѓу масата m и енергијата E за дадена честица. За фотонот имаме:

$$E_{\text{ф}} = mc^2; \quad m = \frac{E_{\text{ф}}}{c^2} = \frac{hf}{c^2}, \quad (2)$$

Според тоа, масата m на фотонот, кој како корпускула се движи со брзина на светлината c во вакуум зависи од фреквенцијата f (брановата должина λ) на светлината. Масата на фотоните битно се разликува од масата на макроскопските тела и масата на другите елементарни честици. Таа разлика се состои во тоа што **фотонот нема маса на мирување m_0** , односно неговата маса на мирување е еднаква на нула ($m_0 = 0$). Во врска со тоа нека разгледаме фотон којшто се движи во вакуум со брзина на светлината ($v=c$). Ако, сега, ја примениме релацијата

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

за зависноста на масата m на дадена честица од

нејзината брзина v при движењето, за фотонот доаѓаме до апсурд ($m = \infty$), ако се смета дека фотонот има маса на мирување различна од нула. Тогаш очигледно е дека фотонот, како корпускула, во состојба на мирување не постои, туку постои само во движење со брзина на светлината во вакуум c . На таков начин, врз основа на квантните претстави за светлината и општите принципи на теоријата на релативноста, произлегува дека:

1. Масата на мирување на фотонот е еднаква на нула.

2. Фотонот насекаде се движи со брзина c .

Вака кажаното означува дека фотонот претставува самиот честица (корпускула) од посебен вид, која се разликува од останатите честици, како што е електронот, протонот и други, кои можат да постојат при движење со брзини помали од c и при мирување.

Врската меѓу импулсот $\vec{p} = m\vec{v}$, на која било честица со маса m и при нејзиното движење со брзина v , и нејзината енергија, согласно на специјалната теорија на релативноста е дадена со релацијата:

$$E = c \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2} \quad (3)$$

Ако станува збор за фотонот, како корпускула, тогаш $m_0 = 0$ и за импулсот на фотонот p_ϕ , од релацијата (3) се добива:

$$p_\phi = \frac{E_\phi}{c} = \frac{hf}{c} = mc, \quad (4)$$

каде што $m = hf/c^2$ - маса на фотонот, а c - брзина на светлината во вакуум. Ако во релацијата (4) фреквенцијата на фотонот f се

изрази преку брановата должина λ ($f = c/\lambda$),

а потоа се воведо брановиот број $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ на светлинскиот бран за импулсот на фотонот се добива релацијата:

$$p_\phi = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} = \frac{h}{2\pi} k = \hbar k, \quad (5)$$

каде што $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$.

Фотонот како корпускула лета во насоката на распространувањето на електромагнетниот бран (светлината). Поради тоа насоката на импулсот на фотонот како векторска величина се совпаѓа со насоката на распространувањето на светлинскиот бран. Брановиот вектор $\vec{k}$, со правец нормален на фронтот на бранот, се поклопува со насоката на ширењето на бранот и има интензитет еднаков на брановиот број

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$. Имајќи го тоа предвид релацијата (5)

може да ја напишеме во векторски облик:

$$\vec{p}_\phi = \hbar \vec{k}. \quad (6)$$

На таков начин фотонот, како и секоја честица во движење, поседува енергија, маса и импулс. Сите овие **корпускуларни карактеристики на фотонот** преку релацијата (6) се поврзани со брановите карактеристики на светлината (потокот од фотони) со неговата фреквенција f (или брановата должина λ).

Во табелата 1 се дадени вредностите за енергијата, масата и импулсот на фотони од различни електромагнетни зрачења.

Според податоците, од табелата 1, се гледа дека со намалување на брановата должи-

Табела 1.

ЕЛЕКТРОМАГНЕТНО ЗРАЧЕЊЕ	Бранова должина (λ)	Енергија на фотонот (eV)	Маса на фотонот (kg)	Импулс на фотонот (kgm/s)
Радиобранови	2 m	$6,25 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-45}$	$3,3 \cdot 10^{-37}$
Видлива светлина	600 nm	2	$3,6 \cdot 10^{-36}$	$1,1 \cdot 10^{-27}$
Рендгенски зраци	0,1 nm	$12,4 \cdot 10^3$	$2,2 \cdot 10^{-32}$	$6,6 \cdot 10^{-24}$

на на електромагнетното зрачење неговите корпускуларни карактеристики доаѓаат до сè поголем израз. Со други зборови, енергијата, масата и импулсот на фотоните во движење стануваат сè поголеми.

Експериментална потврда дека фотонот поседува маса и импулс е измерениот **свешлински притисок на површината на телата што се осветлени**.

Имајќи предвид дека фотоните имаат соодветен импулс, флуksот на тие фотони при ударот на некоја површина врши притисок.

Нека за единица време Δt на разгледуваниот елемент од површината ΔS нормално на неа паѓа монохроматска светлина со бранова должина λ .

Ако површината на телото потполно ја рефлектира упадната светлина (коефициентот на рефлексија $R=1$), тогаш промената на импулсот на фотонот изнесува:

$$\Delta p_{\Phi} = \frac{hf}{c} - \left(-\frac{hf}{c}\right) = 2\frac{hf}{c}. \quad (7)$$

Ако во текот на време Δt на разгледуваниот елемент на површината ΔS паднат n_0 фотони, тогаш вкупниот импулс на силата е:

$$F\Delta t = 2\frac{E}{c}, \quad (8)$$

каде што $F = P\Delta S$ е силата на притисок од сите n_0 фотони, а $E = n_0 hf$ е вкупната енергија на фотоните. Во тој случај релацијата (8) може да се напише во обликот:

$$P = \frac{2E}{\Delta S \Delta t c}, \quad (9)$$

каде што P е светлинскиот притисок од фотоните на таа површина.

Бидејќи интензитетот на светлината е енергија на фотоните која во единица време паѓа на единица плоштина нормално на површината, $J = E / \Delta S \Delta t$, според релација (9) притисокот на светлината е:

$$P_r = \frac{2J}{c}, \quad (10)$$

каде што индексот r означува дека телото наполно ги рефлектира упадните фотони.

Ако површината на која паѓа светлина наполно ги апсорбира сите упадни фотони, тогаш светлинскиот притисок на таа површина е:

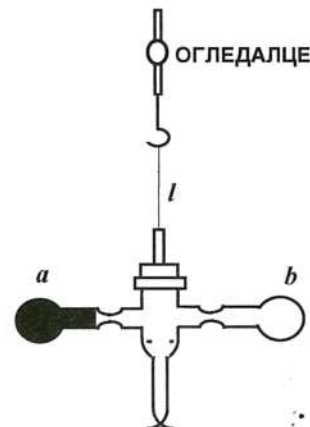
$$P_a = \frac{J}{c}. \quad (11)$$

Во случај разгледуваната површина делумно да ги апсорбира упадните фотони, тогаш дел од фотоните $n_0 R$ се рефлектира, а дел $(1-R)n_0$ се апсорбира, па светлинскиот притисок на светлината по единица површина е:

$$P = P_r + P_a = R\frac{2J}{c} + (1-R)\frac{J}{c} = \frac{J}{c}(1+R), \quad (12)$$

Имено, ако телото наполно рефлектира ($R=1$) светлинскиот притисок е $P = 2\frac{J}{c}$, а за апсолутно црно тело ($R=0$) светлинскиот притисок $P = \frac{J}{c}$ двапати е помал.

Релацијата (12) која го определува светлинскиот притисок добиена е врз основа на Планковата хипотеза. До истата релација може да се дојде и преку Максвеловата електромагнетна теорија за ширење на светлината. Светлинскиот притисок во однос на атмосферскиот притисок е 10^{10} пати помал, па неговото дејство е многу слабо изразено.



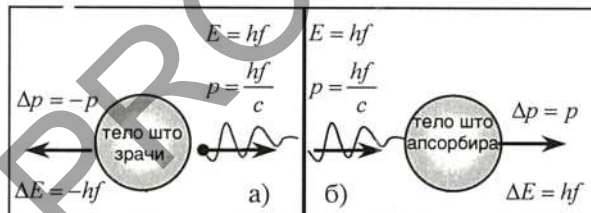
Сл. 1. Експеримент на Лебедев

Прв кој експериментално го потврдил постоењето на светлинскиот притисок во 1901 година бил рускиот физичар П. И. Лебедев. Така релацијата (12) беше потврдена.

Главен дел од апаратурата на П. Лебедев бил многу лесен висок на тенка нитка l , на кој биле прицврстени лесни крилца a и b (сл. 1), од коишто едното е (на пример a) поцрнето, а другото е светло. (Обидете се и Вие од алуминиска фолија да направите нешто слично.)

Поради светлинскиот притисок на крилцето, високот почнува да ротира, а со тоа ја усукува тенката нитка на која е обесен. Притоа усукувањето на нитката се набљудувано со дурбин и огледалце прицврстено за нитката. Со споредување на усукувањата, предизвикани при осветлувањата на поцрнетото и светлото крилце, П. Лебедев можел да утврди дека, во согласност со теоријата, притисокот врз поцрнетата површина е двапати помал од притисокот врз рефлектирачката (светлата) површина. Така по извршените мерења Лебедев покажал дека добиените вредности за светлинскиот притисок, во границите на експерименталните погрешки, се совпаѓале со вредностите по теориската релација (12).

При многу мали димензии на честичите, какви што се молекулите од гасовите, силата на светлинскиот притисок врз нив може да ја надмине силата на гравитацијата што делува на нив. Имено, во 1908 П. Лебедев го измерил светлинскиот притисок врз гасови. Со тоа било потврдено дека при приближувањето на кометите кон Сонцето, во нив се формира опашка, секогаш насочена од Сонцето. Опашката се формира како резултат на силата од светлинскиот притисок, на Сончевата светлина, која ги турка честичите од кои се состои опашката на кометата.



Сл. 2.

ПРИМЕР 1: При процесите на емитирање и апсорбирање на фотоните важат законите за запазување на енергијата и импулсот. Тоа значи дека при секој акт на емисија на фотон телото што зрачи добива дополнителен импулс $\Delta p = -p$ во насока спротивна на насоката на

распространување на емитираната светлина, а енергијата на телото се намалува за $\Delta E = -hf$ (сл. 2a). Телото што апсорбира фотон добива енергија $\Delta E = hf$ и импулс $\Delta p = p$ (сл. 2б).

ПРИМЕР 2. Колкава е енергијата во електронволти, масата и импулсот на фотон, што припаѓа на електромагнетен бран со бранова должина 500 nm (зелена светлина)?

Решение: Енергијата на фотонот е:

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} = 3,39 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 2,48 \text{ eV}$$

$$1 \text{ J} = 6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV}$$

Масата на фотонот изнесува:

$$m = \frac{hf}{c^2} = \frac{E}{c^2} = \frac{3,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9 \cdot 10^{16} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2}} = 4,4 \cdot 10^{-36} \text{ kg};$$

Импулсот на фотонот изнесува:

$$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda} = 1,32 \cdot 10^{-27} \text{ kg m s}^{-1}$$



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои се корпускуларните и брановите карактеристики на фотонот?
2. Ако сноп од црвена светлина и сноп од сина светлина имаат еднаква енергија, кој сноп има поголем број на фотони?
3. Што претставува експериментална потврда дека фотонот поседува маса и импулс?
4. Зборуваме за фотони од црвена светлина, зелена светлина итн. Објасни дали може да зборуваме за фотони на бела светлина.
5. Средната фреквенција на светлината од сијалица со моќност $P=25 \text{ W}$ е $f=2,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. Да се процени приближниот број фотони израчени за една секунда.

(Одговор: $N=1,5 \cdot 10^{20} / \text{s}$)

6. Човечко око е долго адаптирано на темнина, примајќи светлински сигнал од 100 фотони во секунда со бранова должина 550 nm. Колкаво количество енергија паѓа во окото во секоја секунда?

(Одговор: $P=3,6 \cdot 10^{-17} \text{ W}$)

3.3. ДУАЛНА ПРИРОДА НА ЧЕСТИЦИТЕ.

Електронска микроскопија

За објаснување на добиените експериментални резултати, при зрачењето на апсолутно црно тело и апсорпцијата на светлина при надворешниот фотоэффект, неминовно беше потребна нова хипотеза: **светлината со фреквенција f се емитува и апсорбира во одредени порции**, кои при некои појави се пројавуваат како честичи со енергија $E=hf$. Во физиката повторно се воспостави корпускуларната теорија на светлината, но преку новата, **квантната теорија**. Таа теорија се разликува и од старата, Њутнова корпускуларна теорија, и од брановата теорија.

Светлината има сложена природа и не може да се разгледува само како бран или само како сноп од подвижни честичи.

Во појавите интерференција и дифракција светлината ги манифестира брановите својства, т.е. се јавува како електромагнетен бран со определена фреквенција f , периодична во времето и просторот. Во процесите на зрачење и апсорпција на светлина се манифестираат нејзините корпускуларни својства - се зрачат и апсорбираат само кванти, "порции" со енергија $E=hf$ и импулс $p=hf/c$, а никако не се зрачат и апсорбираат делови од тие "порции".

Сите настојувања да се разгледува светлината само како класичен Максвелов електромагнетен бран или сноп од класични Њутнови честичи беа безуспешни. Пројавувањето на светлината како бран или како честича во различни појави се израз на нејзината **дуална (двојна) природа**. Фотонот е првата проучена честича во физиката во која се пројавува таа дуалност.

Сè до создавањето на квантната теорија за природата на светлината се истакнувала брановата природа на светлината, а нејзината корпускуларна природа енергично се поттикнувала, дури била и сосема игнорирана. Додека, пак, честичите (како што се атомите, молекулите, електроните, протоните, т.е. честичите

чија маса на мирување е различна од нула) биле третирани едноставно како класични честичи.

Во природата и во нејзините закони постои симетрија. Земајќи дека светлината поседува својство на бран и честича, не следува ли да се очекува дека слична дуалност им припаѓа на електроните и на другите микрочестичи?

Во 1923 година францускиот физичар Луј де Броли постави смелата хипотеза дека **истовремено на природата и дуалната природа на светлината ја проширува и на сите материјални честичи**. Сите форми на материјата имаат својства како на честичи, така и на бранови. Тие бранови се наречени **бранови на материјата или Де Бролиеви бранови**. Според хипотезата на Де Броли, **секоја честича со импулс p пројавува и бранови својства**.

Тоа значи дека сите форми на материјата, а не само светлината имаат својства како на честичи, така и на бранови. Де Бролиевите бранови за честича со импулс p , се карактеризираат со бранова должина:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{2\pi\hbar}{p}, \quad (1)$$

каде што h -Планкова константа; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ - редуцирана Планкова константа.

Релацијата (1) е позната како **Де Бролиева релација**. Де Бролиевата бранова должина по релацијата (1) важи како за релативистички, така и за нерелативистички честичи. Бидејќи импулсот p на честичката со маса m , што се движи со брзина $v < c$, $p = mv$, имаме:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{2\pi\hbar}{mv}. \quad (2)$$

Релацијата (2) ја дава брановата должина λ , т.е. ја определува нејзината вредност на таканаречените Де Бролиеви бранови или бранови на материјата.

Ако честичката има кинетичка енергија

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}, \quad (3)$$

каде што $p = mv$, тогаш, со замена на импулсот

p со енергијата по релацијата $p = \sqrt{2mE}$, релацијата (2) станува:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}}. \quad (4)$$

Де Бролиевата релација за брановата должина на електронот што се движи во електрично поле со потенцијална разлика U , се добива на овој начин:

$$E = eU, \quad (5)$$

каде што e - полнежот на електронот. Ако во релацијата (4) се внесе изразот за E од релацијата (5) и вредностите за константите $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Js; $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C, тогаш се добива релација за брановата должина на електронот:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meU}} = \frac{h}{\sqrt{2me}} \cdot \frac{1}{\sqrt{U}},$$

$$\lambda = \frac{1,23 \cdot 10^{-9}}{\sqrt{U}} = \frac{1,23}{\sqrt{U}} \text{ nm}. \quad (6)$$

Во релацијата (6) потенцијалната разлика U се мери во волти (V). Релацијата (6) покажува дека Де Бролиевите бранови должини на електронот кој се движи во електрично поле со потенцијална разлика од 1V има бранова должина 1,23 nm. Таа е од редот на бранови должини на рендгенските зраци и овие бранови својства на електронот можат експериментално да се регистрираат.

Природно, се појавува прашањето зошто брановите својства не се појавуваат кај макроскопските тела, на пример, кај куршумот што лета? Одговорот на ова прашање е поврзан со особеностите на Де Бролиевата релација (1) и сите други релации од квантната физика, што ја содржат Планковата константа. Ако во релациите од квантната физика не може да се занемари константата h , тогаш секогаш ќе се добиваат резултати што не се класични. И обратно, ако во релациите може да се смета дека $h \rightarrow 0$, тогаш резултатите од квантната физика се совпаѓаат со класичните.

Посебно, за телото со маса m неспоредливо поголема од масата на атомите и молекулите, може да се смета дека $h \rightarrow 0$ и никакви бранови својства кај таквите тела не се појавуваат ($\lambda \rightarrow 0$).

ПРИМЕР 1. Куршумот со маса $m = 10^{-3}$ kg се движи со брзина $v = 10^2$ m/s. Колкава е неговата бранова должина?

Решение:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{10^{-3} \cdot 10^2} \text{ m} = 6,626 \cdot 10^{-33} \text{ m}.$$

Значи Де Бролиевата бранова должина е сосема мала, и таква бранова должина не може да биде регистрирана со никакви дифракциони експерименти. Според тоа брановите својства кај макроскопските тела практично не постојат.

Познато е дека дифракција на светлината од оптичка мережичка може да се регистрира ако константата на мережичката има димензии од ред на големина на брановата должина на монохроматската светлина што паѓа на неа.

Според релацијата (2) јасно е дека Де Бролиевата бранова должина за микрочестичките, поради нивната многу мала маса во споредба со масата на макроскопските тела, може да биде многу голема. Така постои можност како дифракциона мережичка да се користат, кај кристалните супстанции, кристалните рамнини во кои растојанието меѓу нивните градивни елементи (атоми) е од ред на големина на Де Бролиевите бранови должини за микрочестичките.

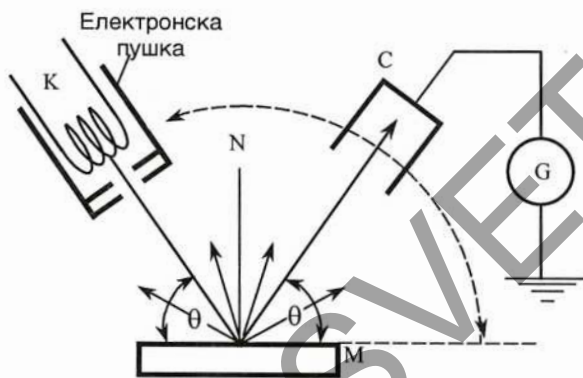
Да го земеме електронот како една многу важна микрочестичка. Тој во атомот на водородот, како што знаеме, се движи со брзина $v = 2 \cdot 10^6$ m/s, и Де Бролиевата бранова должина за него е:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 2 \cdot 10^6} \text{ m} = 0,33 \text{ nm}.$$

За електронот, пак, што се движи во електрично поле со потенцијална разлика $U = 100$ V по релацијата (6) Де Бролиевата бранова должина е $\lambda = 0,123$ nm. Овие нумерички

резултати покажуваат дека Де Бролиевата бранова должина на брзите електрони е споредлива со димензиите на константата на решетката од кристалите. Според тоа кристалната структура може да послужи како адекватна мрежичка за набљудување на појавите на дифракција на брановите од микрочестиците.

Првите експерименти за дифракција на електроните од површината на кристали ги извеле во 1927 година К. Девисон и Л. Џермер, кои ја проучувале рефлексијата на електроните од површината на монокристалот на никел. Независно од нив Џ. Томсон ја проучувал дифракцијата на електроните на кристален прав (кристалниот прав се состои од голем број на произволно ориентирани микрорекристали). Шемата на експериментот на К. Девисон и Л. Џермер е дадена на сл. 1.



Сл. 1. Шема на апаратурата за дифракција на електроните

Тесен сноп на емитираните електрони од вжарената катода К на електронската пушка се насочува под определен агол θ на површината од монокристалот на никел М и се рефлектира од него. Конструкцијата на електронската пушка овозможува електроните што излегуваат од неа да добиваат определена брзина. Електроните расејани од монокристалот паѓаат во колекторот С, кој се поместува во рамнината во која лежи упадниот и одбиените снопови на електрони. На тој начин колекторот С може да ги регистрира електроните расејани под различни агли во однос на

нормалата N на површината од монокристалот. Електроните кои имаат каква било кинетичка енергија ќе се расејуваат под сите можни агли согласно на законите за одбивање на геометриската оптика. Количеството на електроните што паѓаат на колекторот се регистрира по јачината на струјата во осетливиот галванометар Г. Јачината на струјата се менува зависно од промената на енергијата на електроните и од аголот на нивното расејување. Било покажано дека при кинетичка енергија на упадните електрони $E = 54 \text{ eV}$, т.е. при забрзување на упадните електрони во поле со потенцијална разлика $U = 54 \text{ V}$ и агол на паѓање $\theta = 65^\circ$, се регистрира максимален број на одбиени електрони, односно била регистрирана максимална јачина на струја во галванометарот Г.

К. Девисон и Л. Џермер добиените резултати ги објасниле врз основа на Брег-Вулфовата релација за дифракција на рендгенските зраци од кристали:

$$m\lambda = 2d \sin \theta, \quad (7)$$

каде што d е константата на кристалната решетка од никел - растојание меѓу две кристалографски рамнини $d = 0,091 \text{ nm}$ и $m = 1, 2, 3, \dots$ - ред на дифракционите максимуми.

За Де Бролиевата бранова должина на електроните, при $U = 54 \text{ V}$ по релацијата (6), се добива $\lambda = 0,167 \text{ nm}$. По релацијата на Брег-Вулф (7) за $m = 1$ добиваме $\lambda = 2 \cdot 0,091 \cdot \sin 65^\circ$;

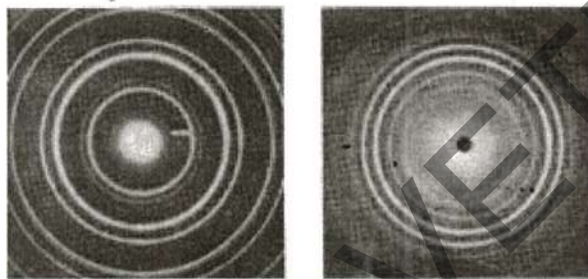
$$\lambda = 2 \cdot 0,091 \cdot 0,866 = 0,165 \text{ nm}.$$

Овој резултат се совпаѓа со брановата должина која се добива по Де Бролиевата релација (6). Слични резултати биле добиени и во ред други експерименти и на тој начин била потврдена дуалната природа на електронот.

После овие експерименти биле направени слични и со други честици кои ја потврдиле Де Бролиевата хипотеза. Така 1929 година И. Естерман и О. Штерн добиле дифракциона слика со помош на молекули од хелиум и водород.

За испитување на структурата на супстанциите, покрај рендгенструктурната анализа (која ги користи рендгенските зраци), широко

се применува и методот на електронографија. Овој метод се заснова на дифракција на електроните при минувањето низ кристален прав или низ тенки метални фолии, кои претставуваат агрегат од микрокристали. Се разбира, меѓу овие ситни кристали ќе има и такви кои во однос на упадниот млаз од електрони ќе бидат ориентирани под таков агол θ кој ја задоволува Брег-Вулфовата релација (7). Сите оние електрони што се рефлектираат под еден ист агол, прават конусна површина чија заедничка оска се поклопува со упадниот млаз на електрони. Според тоа ако на патот од поминатите електрони низ тенката фолија (со дебелина 10^{-5} cm) се постави фотографска плоча, тогаш расејаните (дифрактираните) електрони ќе формираат на фотографската плоча систем од интерферентни прстени, во вид на серија од концентрични кружници. На сл. 2 е прикажан електрограм добиен од кристали на злато.



Сл. 2 Дифракција на: електрони со енергија 600 eV ($\lambda=0,05$ nm) од кристали на злато (лево); б) дифракцискиот рај на рендгенски зраци од кристали на цирконитум оксид ($\lambda=0,07$ nm) (десно).

Многу важен факт е дека секој електрон заемодејствува само со едно зрно на фото-емулзијата на џеративот. Значи апсорпцијата на електроните во емулзијата се случува на ист начин како апсорпцијата на фотоните од металот при фотоефектот: во определена точка се апсорбира само цела порција, цела честица. Светлите места на снимката се местата каде што паднале најмногу електрони.

Дифракционите експерименти не само со електрони, но со други микрочестици – протони, неутрони, јони и други, ја потврдуваат исправноста на хипотезата на Де Броли. Така се утврди симетријата во корпускуларно-брановиот дуализам: не само брановите проја-

вуваат својства на честици, туку и честиците пројавуваат бранови својства. Се разбира, тоа не значи откажување од моделот за честицата како локализиран објект, којашто зафаќа ограничен дел од просторот.

Дифракцијата на честиците објаснета преку Де Бролиевите бранови се смета за експериментална основа на современата квантна механика.

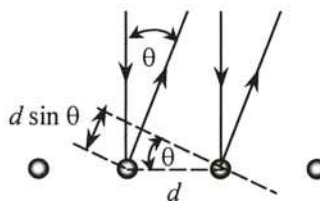
ПРИМЕР 2. Да се определи Де Бролиевата бранова должина на прапичка чија маса е $m=1\cdot 10^{-10}$ kg, којашто се движи со брзина $v=1$ mm/s.

Решение: Брановата должина е

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34}}{1 \cdot 10^{-10} \cdot 10^{-3}} \text{ m} = 6,626 \cdot 10^{-21} \text{ m}.$$

Добиената вредност е околу еден милион помала од радиусот на атомското јадро. Затоа не постои дифракциона мрежичка, со која може да се набљудува дифракција на слични прапички.

ПРИМЕР 3. Електрони со мала кинетичка енергија $E_k=100$ eV удираат нормално на површината од тврдо тело (сл. 3). Притоа, тие заемодејствуваат само со атомите од површинскиот слој. Ако најмалиот агол, под кој дифракциониот максимум се појавува е 24° , да се определи растојанието d меѓу атомите во површината на тврдото тело.



Сл. 3.

Решение: За да биде задоволен условот за максимум, при интерференција на дифрактираните Де Бролиеви бранови на електроните од површината на тврдото тело, релацијата (7) гласи: $m\lambda = d \sin \theta$. За првиот дифракционен максимум $m=1$, и $\lambda = d \sin \theta$;

Врската помеѓу брановата должина λ на Де Бролиевите бранови за електроните и нивната нерелативистичка кинетичка енергија

дадена со релацијата (4). По внесување на вредностите во (4) за $h=6,626 \cdot 10^{-34}$ Js; $E=100$ eV; $m=9,11 \cdot 10^{-31}$ kg; $1 \text{ eV}=1.6 \cdot 10^{-19}$ J, се добива:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE}} = 0,123 \text{ nm}.$$

Растојанието меѓу атомите на површината од тврдото тело е

$$d = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{0,123 \text{ nm}}{\sin 24^\circ} = \frac{0,123 \text{ nm}}{0,41} = 0,30 \text{ nm}$$

ПРИМЕР 4. Колкава е Де Бролиевата бранова должина за електрон со енергија $E=1$ MeV?

Решение: Енергијата на електронот во овој случај е двапати поголема од неговата енергија во мирување $E_0=m_0 c^2 = 0,5$ MeV. Во овој случај важи релативистичката релација за врската меѓу импулсот и енергијата.

$$E = \sqrt{p^2 + m_0^2 c^2}; \quad E^2 = p^2 + m_0^2 c^2;$$

$$p^2 = \frac{E^2}{c^2} - E_0^2; \quad p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_0^2}$$

По релацијата (1) се добива:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{hc}{\sqrt{E^2 - E_0^2}};$$

$$\lambda = 1,65 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 0,00165 \text{ nm}$$

Брановата должина на Де Бролиевите бран за релативистички електрони е сто пати помала од димензиите на атомот, но сè уште е 1000 пати поголема од димензиите на атомското јадро.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како гласи Де Бролиевата хипотеза за дуалната природа на честииците?
2. Објасни ја Де Бролиевата релација. Која е нејзината смисла?
3. Како ги објасниле добиените експериментални резултати К. Девисон и Л. Џермер?
4. Набројте појави во коишто елект-

ронот пројавува бранови и појави во коишто пројавува корпускуларни својства.

5. Да се определи растојанието d меѓу две кристални рамнини – константата на кристалната решетка, ако по Брег-Вулфовата релација првиот дифракционен максимум ($m=1$), како резултат на интерференцијата на рефлектираниот сноп од електрони со бранова должина на Де Бролиевите бранови $\lambda=0,128$ nm се набљудува под агол $\theta=16^\circ$.

(Одговор: $d=0,232$ nm)

6. Колкава е брановата должина на Де Бролиевите бранови за неутрон со кинетичка енергија $E_k=0,025$ eV? Масата на неутронот е $m=1,67 \cdot 10^{-27}$ kg.

(Одговор: $\lambda=0,18$ nm)

7. Спореди ги брановите должини на Де Бролиевите бранови за нерелативистички протон (λ_p) и електрон (λ_e), коишто имаат: а) еднакви брзини; б) еднакви енергии. На која честица од двете одговара Де Бролиев бран со помала бранова должина?

(Одговор: а) $\frac{\lambda_p}{\lambda_e} = \frac{m_e}{m_p}$ б) $\frac{\lambda_p}{\lambda_e} = \frac{\sqrt{m_e}}{\sqrt{m_p}}$; $\lambda_p < \lambda_e$)

Луј де Броли (Countn Louis de Broglie, 1892-1987) завршил физика на Универзитетот во Париз во 1913 год. Бил професор на Сорбона и секретар на Француската академија. Работел во областа на квантната механика. Со својата дисертација во 1924 год. ги поставил основите на брановата механика; на електроните и другите материјални честици со импулс им припишува бранови својства. За тој труд во 1929 год. добил Нобелова награда.

Американскиот физичар К. Девисон (Clinton Joseph Davisson, 1881-1958) ја истражувал и природата на топлинското зрачење. Во 1937 година, заедно со Џ. П. Томсон, ја поделил Нобелова награда за физика.

За да научите повеќе следете го сајтот за новости:

<http://www.iop.org>

<http://www.nobelprize.org>

ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА

Примената на оптичкиот микроскоп за откривање на детални структури на препарати е ограничена на разделна моќ (види физика за III година), дадена со релацијата (за мали агли $\sin \varphi \approx \varphi$)

$$\varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}, \quad (1)$$

каде што φ – агол под којшто се гледаат две најблиски точки од препаратот разделени на определено растојание; λ – бранова должина на видливата светлина; D – дијаметар на отворот на објективот.

Од релацијата (1) следува дека не е можно да се конструира оптички микроскоп, со којшто ќе може да се набљудуваат детали на објекти, чии димензии се споредливи или помали од брановата должина на видливата светлина λ . Со оптички микроскоп се набљудуваат детали на препарат што се на минимално растојание 200 nm, т.е. неговата максимална разделна моќ е 200 nm, а максималното корисно зголемување е околу 1500 пати.

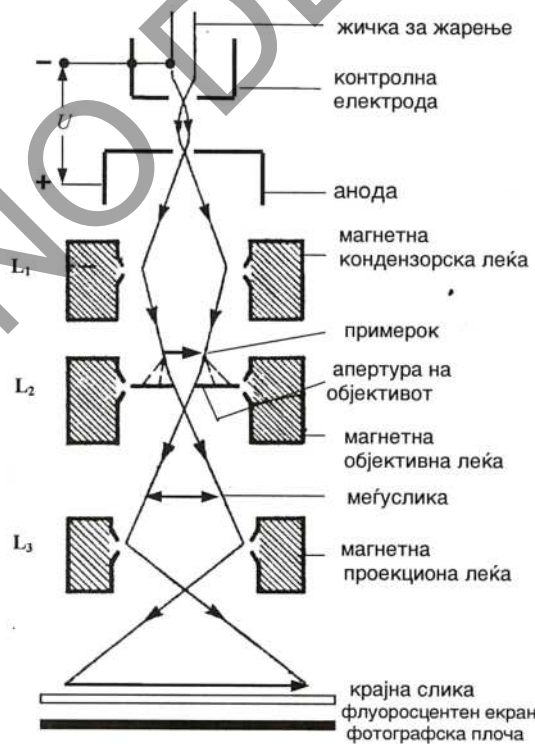
Меѓу електромагнетните зрачења за таа цел, секако, одговараат рендгенските зраци со бранова должина и тоа од 10 до 10^{-4} nm. Но, при конструирање на рендгенски микроскоп, сличен на оптичкиот, се појавуваат засега непрестовити тешкотии. Проблемот е во тоа што индексот на прекршување на сите материјали за рендгенските зраци е многу близок до единица. Ете затоа рендгенските зраци не се прекршуваат и рефлектираат на границата меѓу две средини. Како последица на тоа не е можно да се изработат неопходните леќи за рендгенски микроскоп.

Затоа место рендгенските зраци се користат снопови на електрони, т.е. корпускуларни зраци со соодветни Де Бролиевии бранови должини (помали од 0,1 nm). По релацијата (6), дури при релативно ниски напони за забрзување, Де Бролиевата бранова должина на електронот е повеќе од 1000 пати помала од брановата должина на видливата светлина, а при поголеми напони разликата е уште поголема.

Така брановите својства на сноп од електрони се користат во **електронскиот микроскоп** како замена за видливата светлина.

Електронскиот сноп се насочува и фокусира со електрични и магнетни полиња. Првите се електростатски леќи, а вторите се магнетни леќи. Фокусот на леќите се регулира со електричното или магнетното поле (види во II година наелектризирана честица во електрично и магнетно поле).

Постојат електронски микроскопи со различна конструкција и намена: трансмисиони, скенирачки, рефлексии, емисиони и др. Накратко ќе се задржиме само на првите два, бидејќи тие се користат најповеќе.



Сл.1. Шема на трансмисионен електронски микроскоп

Електронскиот микроскоп преставува евакуирана комора, во којашто се создава сноп од електрони, емитувани од загреана волфрамова жичка до температура од 2700 °C. Електроните се забрзуваат до значителни енергии од 30 до 100 keV и повеќе. На слика 1 е прикажана шема на **трансмисионен** електронски микроскоп, со којшто се добива рамен (дводимензионален), лик на предметот. Тој лик се

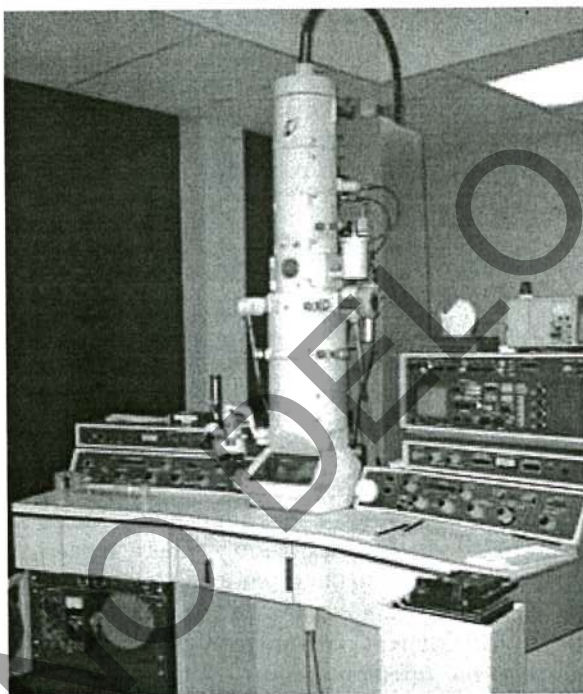
набљудува на флуоресцентен екран или се фиксира врз фотографска плоча.

Ликот на предметот се добива на следниот начин. Преку магнетни леќи се формира електронски сноп со потребниот интензитет и се фокусира врз примерокот. Магнетната леќа (објектив) го создава првото зголемување на ликот. Второто, крајно зголемување, го создава, проекционата леќа. Магнетните леќи претставуваат калемии со навивки низ кои тече еднонасочна струја. Ликот во трансмисиониот микроскоп се добива како резултат на нееднаквото расејување на електроните од одделни делови на предметот, каде што има разлика во нивната дебелина, маса и структура. Поради големата апсорпција електроните можат да преминуваат само преку многу тенки примероци. Поради тоа методот е соодветен за испитување на тенки слоеви или специјално подготвени отпечатоци (реплики) од површината на волуменски материјали.

Зголемувањето на електронскиот трансмисионен микроскоп достигнува 10^6 пати (околу 1000 пати поголемо од оптичкиот микроскоп) и со тоа зголемување се набљудуваат детали со димензии до 0,2–0,5 nm. Де Бролиевата бранова должина за електрони со енергија 10^5 eV е околу 0,004 nm, толкава е И разделната моќ на микроскопот во којшто се користат такви електрони. Наведената теориска разделна моќ не може да биде достигната поради некои ограничувања во фокусирањето на снопот, поврзани со присуство на електрони со различни брзини.

Скенирачкиот електронски микроскоп се користи, главно, за испитување на површини на материјалите. Во него многу тесен сноп од електрони ја скенира точка по точка површината на испитуваниот предмет. Притоа расејаните електрони од одделните точки се собираат во колектор. Добиените сигнали од расејаните електрони се обработуваат и се формира тродимензионален лик на површината од предметот. Максималната разделна моќ постигната со скенирачкиот електронски микроскоп е околу 5–10 nm.

Електронските микроскопи се незаменливо средство како во научните испитувања (во биологијата, при испитување структурата на супстанции и др.) и високите технологии.



Сл. 2. Електронски микроскоп

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Напишете ја релацијата за разделната моќ на оптичкиот микроскоп и објаснете ја.
2. Кои се потешкотиите при конструирање на рендгенски микроскопи?
3. Кои својства на електроните се искористени во електронскиот микроскоп?
4. Што претставува електронскиот микроскоп и како се насочуваат и фокусираат електроните во него?
5. Какви типови на електронски микроскопи постојат?
6. Како се формира ликот на предметот во електронскиот микроскоп и како се набљудува?
7. Колкава е разделната моќ и зголемувањето на трансмисионен и скенирачки електронски микроскоп?
8. Каде се применува електронскиот микроскоп?

3.4. ХАЈЗЕНБЕРГОВ ПРИНЦИП

Знаеме дека секое мерење е поврзано со грешки, чии големини зависат од точноста на инструментот за мерење. На пример, точноста со која ја определуваме должината на некое тело со милиметарски лењијар не е поголема од 0,5 mm, а точноста со којашто можеме да ја определиме дебелината на една метална монета со микрометарски винт е, на пример, стоти пати поголема.

Со развој на науката и технологијата точноста на апаратите за мерења се зголемува, грешките се намалуваат, но никако не исчезнуваат, не стануваат еднакви на нула.

Во класичната физика, којашто ги проучува макроскопските тела, се претпоставува дека **во принцип сите физички величини може да се измерат со произволно голема точност**. Коренито е различна состојбата при проучувањето на микросистемите и таа разлика се должи на два фактора: на корпускуларно-брановиот дуализам на тие системи и на неизбежното заемнодејство меѓу набљудуваниот систем и апаратот со којшто го вршиме мерењето на потребната величина.

Вториот од овие фактори е присутен и во класичната физика, но таму неговото влијание е занемарливо мало. Навистина, во експериментот кога го фотографираме паѓањето на дадено топче и по фотографиите ја определуваме неговата местоположба, ние во стварност ја регистрираме одбиената светлина од топчето. Притоа воопшто не водиме сметка дека пред тоа светлината заемнодејствувала со топчето – се одбила од неговата површина, му предала определена енергија и импулс, како последица на тоа го променило своето движење. Но таа промена е толку мала, така што ние не ја забележуваме – таа неизмерно е помала од грешката, којашто ја внесуваат несовершеностите на апаратот за мерење. Во дадениот случај, на пример, зрната на фотоемулзијата, врз која се фиксира ликот на топчето, имаат конечни димензии и со тоа и ограничена разделна моќ.

Во светот на микросистемите ситуацијата е принципно различна.

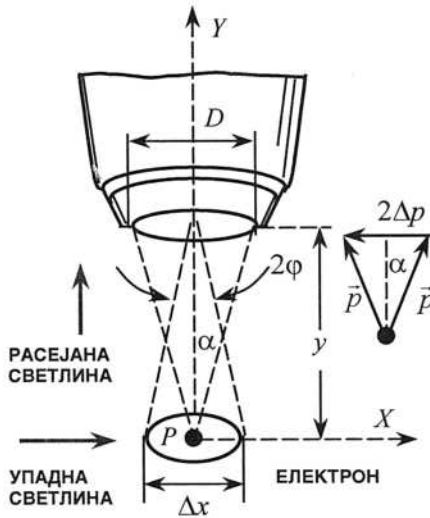
Како што видовме, експериментите со микрочестиците, на пример, со електроните покажуваат дека во низа случаи тие "честици" пројавуваат и бранови својства, односно приордата на микрочестиците (атоми, молекули, електрони) е слична како и кај светлината, сложена: корпускуларно бранова (дуална).

Како можеме теориски да ги опишеме овие микросистеми (атоми, молекули, електрони итн.)? Во квантната механика вообичаено се вели: како можеме да ја опишеме состојбата на микросистемот?

Познато ни е од класичната (Њутнова) механика дека состојбата на класичната (нерелативистичка) честица можеме да ја опишеме со помош на координатите $\vec{r}(x, y, z)$ и импулсот (или брзината) на честицата $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$. Овде е битно да истакнеме

дека во класичната механика, грешките при определувањето на координатата Δx (на пример, X - координатата) и импулсот Δp_x , меѓусебно се независни и зависат само од експерименталните услови. Тоа значи дека во идеални експериментални услови може да биде $\Delta x = 0$ и $\Delta p = 0$ (слично важи и за останатите координати). **Едноставно кажано, во класичната механика е можно истовремено, во секој момент, точно да се определи координатата и импулсот на честицата.** Тоа значи дека за проучување на движењето на некое тело во класичната механика потребно е точно да се познава положбата на тоа тело и неговата брзина (или импулсот) во определен временски момент.

Нека сега разгледаме еден замислен опит во кој доаѓа до израз дуалната природа на микрочестиците. Нека со оптички микроскоп со голема разделна моќ ја набљудуваме положбата на електрон кој мирува во точката P (сл. 1). Да се набљудува тој електрон, видното поле на микроскопот се осветлува со паралелен светлински сноп со бранова должина λ кој се шири во насока на X – оската. Според сл. 1, согласно на дифракционата теорија за разделната моќ на микроскопот, положбата на електронот Δx што може да биде определена со микроскопот се поклопува со централниот диск од дифракционата слика.



Сл. 1.

Неговиот дијаметар е $\Delta x \approx 2y \sin \varphi$ (според сл.1; за мали агли $\tan \varphi \approx \sin \varphi = \frac{\Delta x}{2y}$; $\tan \varphi = \frac{\Delta x}{2y}$),

каде што $\sin \varphi \approx \frac{\lambda}{D}$ (Поточно, според Рејли-евиот критериум $\sin \varphi = 1,22 \frac{\lambda}{D}$). Според тоа:

$$\Delta x \approx 2y \sin \varphi \approx 2y \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

Од последната релација се гледа дека несигурноста Δx , што се појавува при определувањето на положбата на честицата, може да се намали ако се користи светлина со пократка бранова должина. Но, на малата бранова должина одговара висока фреквенција и голем импулс на фотоните, а со тоа при судирот ќе му предадат на електронот и поголем импулс. Исто така, подолга бранова должина значи помала разделна моќ на микроскопот, така што положбата на електронот ќе биде понесигурно определена.

Пред мерењето електронот мирува и неговиот импулс е еднаков на нула. Но, за време

на мерењето тој нема да остане во таа положба. Електронот при судирот со фотон, посебно од монохроматска светлина со мала бранова должина ќе добие и определен импулс. Промената на x -компонентата на импулсот на електронот Δp_x е во насока нормална на оската на микроскопот (во насока на X -оската). Од сл. 1. се гледа дека Δp_x е:

$$\Delta p_x = p \sin \alpha; \sin \alpha = \frac{D}{2y}; \Delta p_x \approx \frac{hD}{2\lambda y}, \quad (2)$$

каде што $p = \frac{h}{\lambda}$. Последната релација покажува дека пократката бранова должина на светлината предизвикува поголема неточност на x -компонентата на импулсот. Значи, користејќи светлина со пократка бранова должина, од една страна се определува точноста на координатата на електронот, додека, од друга страна, се намалува точноста на определување на импулсот. На овој начин од овој опит произлезе значајна несигурност во која било од двете физички величини: **положбата** или **импулсот** на електронот. Имено, едновременно не е можно зголемување на точноста на мерењето на двете физички величини, поради што не е можно по желба да се намали производот на несигурноста на координатата и импулсот. Тој производ се добива со множење на релацијата (1) и (2):

$$\Delta x \Delta p_x \approx h \approx 2\pi \hbar; \Delta x \Delta p_x \geq \hbar \quad (3)$$

$$\text{каде што } \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,06 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Релацијата (3) е математички приказ на **Хајзенберговиот принцип на несигурноста** или, како што е и понекогаш наречен, **принцип на неодреденост**. Овој битен принцип за несигурност за првпат беше искажан од германскиот физичар В. Хајзенберг 1927 година. Од релацијата (3) следува дека производот може да се намали само до големина од редот на Планковата константа.

Преку анализа на појавата дифракција на електроните на една пукнатина, исто така, се доаѓа до Хајзенберговата релација за неси-

гурност (3), - не е можно едновременно да се определи точно вредноста за дадена координатата на електронот и неговиот импулс.

Релацијата (3) важи за која било координатата и соодветниот импулс, така имаме

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar; \quad \Delta y \Delta p_y \geq \hbar; \quad \Delta z \Delta p_z \geq \hbar \quad (4)$$

Овие релации ја претставуваат **Хајзенберговата релација на неопределеноста**. Од неа следува: *производот од неопределеноста на дадената координата и соодветниот импулс не може да биде помал од Планковата константа.*

Најбитното што произлегува од Хајзенберговата релација е тоа што неопределеностите за координатата Δx и импулсот Δp_x се меѓусебно зависни за честичите од микросветот. Во колку е помала вредноста за Δx (т.е. што поточно ја определиме положбата на честичката), толку е поголема вредноста на Δp_x (т.е. грешката при определувањето на импулсот на честичката станува поголема), и обратно. Според тоа, не е можно точно истовремено да се измери положбата и импулсот на микрочестичите.

Да се вратиме на хипотезата на Де Броли. Според неа на еден слободен електрон со импулс p и Де Бролиев бран со определена бранова должина, вредноста на импулсот е точно определена - неговата неопределеност е нула, но положбата на таков електрон е наполно неопределена - Де Бролиев бран го зазема целото пространство и има една иста амплитуда насекаде.

Хајзенберговата релација на неопределеноста вреди и за такви величини чиј производ има димензии на Планковата константа $\hbar$.

На пример, ако сакаме да ја измериме не само енергијата на дадената микрочестича, туку и времето за кое ја има таа енергија, тогаш за производот на нивната неопределеност се добива:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar \quad (5)$$

Во оваа релација Δt претставува временски интервал во кој микрочестичката има енергија $E \pm \Delta E$. Оваа релација за неопреде-

леноста на енергијата - времето, како и неопределеноста на импулсот - координатите, се наоѓа во основата на квантната механика. Таа покажува дека производот на неопределеноста на енергијата на системот ΔE во дадена состојба и времето поминато на системот во таа состојба Δt (или времето на живот на дадената состојба) е пропорционален на Планковата константа или поголем од неа.

Оттука следува, на пример, дека за даден временски интервал Δt е можно нарушување на законот за запазување на енергијата, но тоа нарушување не може да ја надмине вредноста

$$\Delta E = \frac{\hbar}{\Delta t}.$$

Од аспект на класичната физика појавувањето на Хејзенберговата релација на неопределеноста претставува ограничување во добивање на информации за даден систем.

Од аспект, пак, на квантната механика оваа релација претставува многу вредна информација, бидејќи овозможува процена на редот на величината во многу случаи кога не е можно да се најде егзактно решение.

ПРИМЕР 1. Електронот со маса $m=9,11 \cdot 10^{-31}$ kg се движи праволиниски со константна брзина $v=1,10 \cdot 10^6$ m/s која може да биде измерена со точност 0,10%. Со која максимална точност може да биде едновременно измерена неговата положба?

Решение: Импулсот на електронот е:

$$p = mv = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg} \cdot 1,10 \cdot 10^6 \text{ m/s} = 1,00 \cdot 10^{-24} \text{ kgm/s}.$$

Точност во брзината е 0,10% = 10^{-3}

Неопределеноста во импулсот е:

$$\Delta p = 1,00 \cdot 10^{-24} \cdot 10^{-3} \text{ kgm/s} = 1 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s}.$$

По Хајзенберговата релација, неопределеноста на положбата е:

$$\Delta x = \frac{\hbar}{\Delta p} = \frac{1,06 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{1 \cdot 10^{-27} \text{ kgm/s}} = 1,1 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 110 \text{ nm}$$

Добиената вредност е околу 1000 пати поголема од дијаметарот на атомот.

ПРИМЕР 2. Колкава е неопределеноста на положбата, по Хајзенберговата релација, на топка за безбол од 150 g фрлена со брзина $(42 \pm 1) \text{ m/s}$?

Решение: Неопределеноста на импулсот за топката е:

$$\Delta p = m \Delta v = 0,15 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s} = 0,150 \text{ kg m/s}.$$

Неопределеноста во мерењето на положбата е:

$$\Delta x = \frac{\hbar}{\Delta p} = \frac{1,06 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{0,15 \text{ kg m/s}} = 7 \cdot 10^{-34} \text{ m},$$

Тоа растојание е толку мало што не би можело да се набљудува или мери.

ПРИМЕР 3. При β -распад јадрото на радиоактивниот изотоп ^{14}C емитува електрони со максимална кинетичка енергија $E=0,156 \text{ MeV}$. Проценете дали е можно електроните предходно да биле во атомското јадро.

Решение: Димензиите на атомското јадро се од редот 10^{-15} m . Тоа означува ако електронот бил составен дел на јадрото пред β -распадот, тогаш неопределеноста на неговата положба не ја надминува вредноста $\Delta x = 10^{-15} \text{ m}$. Според Хајзенберговата релација неопределеноста на импулсот на електронот е: $\Delta p = \hbar / \Delta x$. Таква неопределеност на импулсот води до неопределеност во енергијата на електроните ΔE . Ако се искористи релативистичката врска меѓу енергијата и импулсот, за ΔE се добива:

$$\Delta E = c \sqrt{(\Delta p)^2 + m^2 c^2} = c \sqrt{\left(\frac{\hbar}{\Delta x}\right)^2 + m^2 c^2}$$

Кога станува збор за процена вториот член под коренот може да се занемари, и се добива:

$$\Delta E = \frac{ch}{\Delta x} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 1,06 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{10^{-15} \text{ m}} = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ J}$$

$$\Delta E = 200 \text{ MeV},$$

При β распадот електрони со таква голема енергија не се набљудуваат. Значи, овие електрони не се составен дел на атомското јадро. Тие се продукт на β^- -распадот.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дали во класичната механика е можно истовремено, во секој момент, да се определи координатата и импулсот на честицата?

2. Положбата на еден електрон е определена со точност $1,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}$. Со каква точност може да се определи неговата брзина? Масата на електронот е $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$.

(Одговор: $\Delta v = 9600 \text{ m/s}$)

3. Мерењето на брзината на протонот дава резултат со точност $(6,370 \pm 0,015) \cdot 10^5 \text{ m/s}$. Со каква максимална точност може да се измери местоположбата на протонот? Масата на протонот е $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

(Одговор: $\Delta x = 4 \cdot 10^{11} \text{ m}$)

4. Електрон се наоѓа во возбудена состојба во атом за време $\Delta t = 10^{-8} \text{ s}$. Колкава е минималната неопределеност на енергијата ΔE во таа состојба?

(Одговор: $\Delta E = 0,7 \cdot 10^{-7} \text{ eV}$)



В.Хајзенберг (Werner Karl Heisenberg, 1901-1976)

Германскиот физичар В. Хајзенберг ја создал (1925) матричната варијанта на квантната механика, го открил (1927) принципот на неопределеност, со примена на квантната механика ги објаснил магнетните интеракции меѓу атомите. Хајзенберг ја објаснува појавата феромагнетизам (1928).

Во 1932 година добил Нобелова награда за физика.

3.5. КВАНТНО-МЕХАНИЧКИ МОДЕЛ НА АТОМОТ

Паралелно со постигнатите први успеси на Боровата теорија сè појасно се воочувале нејзините недостатоци. И после сите нејзини усовршувања таа не била во состојба детално да ги објасни спектрите на посложените атоми. Особено тешкоти се појавиле при настојувањата правилата за квантување да се применат и за атоми со повеќе електрони во рамките на Боровата теорија.

Боровата теорија не била во состојба да ги објасни: на пример, структурата на стабилните орбити кај атомот од хелиум, кој има два електрона, интензитетот и фината структура на одделни спектрални линии, како и поврзувањето на атомите во молекулите или во тврдите тела и течностите. Сето ова го наметнало прашањето за исправноста на квантните постулати и на изградување посовршена теорија за процесите во атомот. Новата теорија беше создадена од австрискиот физичар Е. Шредингер, англискиот физичар П. Дирак и германскиот физичар В. Хајзенберг. Таа е наречена **квантна механика**.

Во квантната механика, како што обично се вели, состојбата на системот, т.е. положбата на некоја честица во движење во дадена точка во просторот и даден момент, може да се опише со брановата функција* од координатите на радиус векторот $\vec{r}(x, y, z)$ и времето. Во општ случај брановата функција е комплексна величина која може да се напише во следнава форма:

$$\Psi(\vec{r}, t) = A(\vec{r}, t) e^{i(\vec{k}\vec{r} - \omega t)}, \quad (1)$$

* Брановата функција $\Psi(\vec{r}, t)$ општо е комплексна величина, таа го вклучува $i = \sqrt{-1}$, и не е можно да се набљудува. Од друга страна $|\Psi|^2$, квадратот од апсолутната вредност на Ψ е секогаш реална величина и тоа е што на $|\Psi|^2$ можеме да дадеме физичка интерпретација.

каде што $A(\vec{r}, t)$ - амплитуда на бранот, а $(\vec{k}\vec{r} - \omega t)$ - фаза на бранот. Тргувајќи од релацијата $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$ брановата функција може да ја напишеме (како збир од реален и имагинарен дел) во форма вообичаена за комплексните величини:

$$\Psi(\vec{r}, t) = A(\vec{r}, t) \cos(\vec{k}\vec{r} - \omega t) + iA(\vec{r}, t) \sin(\vec{k}\vec{r} - \omega t), \quad (2)$$

Модулот (интензитетот) на брановата функција може да се добие со множење на брановата функција (2) со нејзината конјугирано комплексна функција означена со $\Psi^*(\vec{r}, t)$:

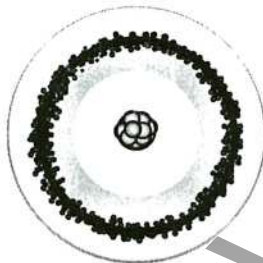
$$|\Psi(\vec{r}, t)|^2 = \Psi(\vec{r}, t) \Psi^*(\vec{r}, t) = A^2 \cos^2(\vec{k}\vec{r} - \omega t) + A^2 \sin^2(\vec{k}\vec{r} - \omega t) = A^2(\vec{r}, t) \quad (3)$$

Според тоа, модулот на брановата функција е еднаков на квадратот од амплитудата, т.е. на **веројатноста** за наоѓање на честичката во дадена точка на просторот. Следува дека брановата функција Ψ во квантната механика има статистичка интерпретација, т.е. пробалистичка.

Врз основа на квантната механика во 1925 година беше создаден новиот, **квантно-механички модел на атомот**, овој пат верен модел кој адекватно ја вклучува идејата за квантување при опишувањето на атомот. Основна равенка во квантната механика е т.н. **Шредингеровата равенка**. Таа е диференцијална равенка за опишување на состојбата на нерелативистички честици (брзини $v \ll c$) со бранови функции. Таа теориски не може да се изведе, исто како што не можат да се изведат Њутновите закони од механиката. Тие можат да се докажат само експериментално.

При движењето на електронот доаѓаат до израз неговите бранови својства. Состојбата на електронот во атомот ќе биде опишана со квадратот од модулот на брановата функција $|\Psi(\vec{r}, t)|^2$ кој ја претставува **густината на веројатноста** електрони да се најде во даден момент во определена точка од просторот – волуменот на атомот.

Според квантната механика, точната положба на електронот никогаш не може да биде определена. Но, може да се пресмета веројатноста дека еден електрон ќе се најде во оваа или онаа точка во волуменот на атомот. За дадена стационарна состојба (таква состојба имаат сите квантомеханички системи кај кои вкупната енергија не зависи од времето) таа веројатност е различна за различни точки околу јадрото. Кога атомот се наоѓа во невозбудена состојба, веројатноста зависи само од растојанието на електронот од атомското јадро. Од тоа, пак, произлегува дека во сите точки што се наоѓаат на една сфера со радиус r и центар во атомското јадро, веројатноста да се најде електронот е еднаква. На овој начин за да се создаде претпоставка за распределбата на веројатностите се вели дека различните положби на електронот во атомот формираат еден вид електронски облак околу атомското јадро (сл. 1).



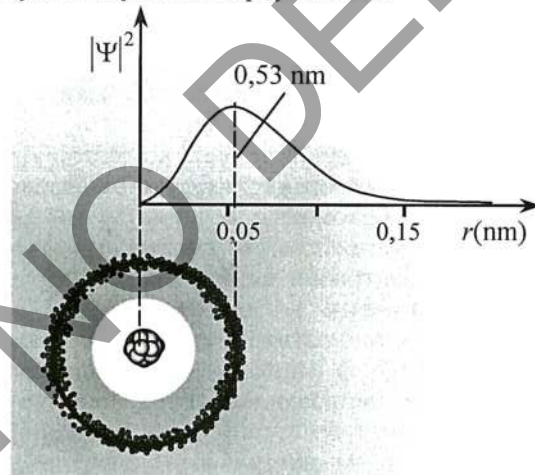
Сл.1. Електронски облак

Густина на овој електронски облак е различна во различни точки во волуменот на атомот. Електронскиот облак е погуст таму каде што е поголема веројатноста да се најде електронот, а формата на облакот зависи од стационарната состојба. Во која било точка во волуменот на атомот густината на електронскиот облак е пропорционална на веројатноста електронот да се најде во таа точка.

Согласно на Хајзенберговиот принцип за неопределеност, за некои определени орбити на електронот во атомот не може да се зборува. Тогаш, што во суштина претставуваат Боровите орбити на електронот кај атомот на водородот? На пример, кога тој се наоѓа во основната невозбудена состојба. Согласно на квантната механика, за стационарна состојба на атомот, густината на веројатноста $|\Psi|^2$ елек-

тронот да се најде на растојание r од атомското јадро е претставена со кривата на сл. 2.

Се гледа дека максимумот на кривата е на растојание r еднакво на радиусот од првата Борова орбита на електронот $r=a_0=0,53\cdot 10^{-10}$ m. Што значи тоа? Овој резултат се јавува како специјален случај од општиот заклучок: *Боровите стационарни орбити на електронони претставуваат геометриско место на точки, во коишто електронот може да се најде со најголема веројатност.*



Сл. 2.

На овој начин согласно на квантомеханичкиот модел за атомот, движењето на електронот околу атомското јадро не се одвива по орбити, туку во подрачја каде што веројатноста тој да се најде е најголема. На тој начин електронот околу атомското јадро опишува еден **електронски облак** - просторот околу атомското јадро во кој постои најголема веројатност да се најде електронот.

Боровите постулати, преформулирани според квантомеханичкиот модел на атомот, гласат:

1. Електроните во еден систем (атом, молекул, јон итн.) се наоѓаат во строго определени состојби коишто се наречени *стационарни состојби* и се карактеризираат со определени енергии.

2. При премин на електроните меѓу стационарните состојби се емитува или апсорбира фотон согласно на, веќе, познатата релација:

$$hf_{nm} = E_n - E_m \quad (4)$$

Според квантната механика секоја од можните стационарни состојби на електронот во атомот е определена со четири квантни броја. Овде ќе се запознаеме со трите квантни броја, а за четвртиот – магнетен квантен број на спинот m_s ќе стане збор понатаму.

Главниот квантен број n ја определува енергијата на состојбата на електронот во атомот и може да има целобројни вредности од 1 до бескрајност ($n = 1, 2, 3, \dots, \infty$).

Состојбата со пониска енергија, т.е. при помали вредности на n електронот посилно е врзан со јадрото и електронскиот облак е сконцентриран на помало растојание од него. Во основната состојба со $n=1$, електронскиот облак е најгуст на растојание $r=a_0=0,53 \cdot 10^{-10}$ m (сл. 2) наречено **Боров радиус**. Тоа растојание се совпаѓа со првата кружна орбита во Боровиот модел за атомот. Поголеми, но од истиот ред 10^{-10} m, се димензиите на електронскиот облак во состојбите со $n = 2, 3, \dots$. Димензиите на електронските обвивки и за другите атоми, не само на водородот се од редот $(1-3) \cdot 10^{-10}$ m.

Орбиталниот квантен број l ја определува големината на орбиталниот момент на електронот - моментот на импулсот на електронот околу атомското јадро кој е наречен **орбитален момент** $\vec{l}$. Тој е векторска величина со определена насока и стои нормално на орбиталната рамнина на електронот. Орбиталниот момент $\vec{l}$ може да има само определени вредности - е квантуван. Неговите дозволени бројни вредности се дадени со изразот:

$$|\vec{l}| = \sqrt{l(l+1)} \hbar = \sqrt{l(l+1)} \frac{h}{2\pi} \quad (5)$$

За дадена вредност на главниот квантен број n , орбиталниот квантен број l може да ги има следниве вредности:

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots, (n-1) \quad (6)$$

Значи орбиталниот квантен број l за даден n може да има n различни вредности. Според квантната механика, во кој и да било атом можни се состојби на електронот и за случај кога $l=0$. Во оваа состојба следува по релацијата (5), дека орбиталниот момент на електронот $|\vec{l}| = 0$.

Од релацијата (5) следува, на дадена квантна состојба, определена со главниот квантен број n , на атомот на водородот и нему слични атоми (јоните на He^+ , Li^{++} , Be^{+++} кои се состојат од атомско јадро со полнеж Ze и еден електрон околу јадрото, Z - реден број на атомот) припаѓаат повеќе состојби на електронот. Тие состојби се и состојби на атомот со еден електрон, како што е атомот на водородот и нему сличните атоми. За различни вредности на орбиталниот квантен број, состојбите се нарекуваат и означуваат на овој начин:

$n=1$	$l=0$	s -состојба, $1s$
$n=2$	$l=0$	s -состојба, $2s$
	$l=1$	p -состојба, $2p$
$n=3$	$l=0$	s -состојба, $3s$
	$l=1$	p -состојба, $3p$
	$l=2$	d -состојба, $3d$
$n=4$	$l=0$	s -состојба, $4s$
	$l=1$	p -состојба, $4p$
	$l=2$	d -состојба, $4d$
	$l=3$	f -состојба, $4f$

Гледаме дека состојбите на електронот за различни вредности на l се означуваат со буквите s, p, d, f и со ред понатаму со буквите од латинската азбука, но пред секоја се наоѓа главниот квантен број n на кој тие припаѓаат.

Магнетниот квантен број m_l ја определува големината на проекцијата на орбиталниот момент на електронот по определен правец во просторот кој е определен со насоката на слабо надворешно магнетно поле. Во квантната механика овој правец се избира долж Z оската од правоаголниот координатен систем.

Магнетниот квантен број m_l , за даден орбитален квантен број l , може да има општо $2l+1$ различни вредности:

$$m_l = -l, -(l-1), -(l-2), \dots, -1, 0, 1, 2, \dots, (l-1), l \quad (7)$$

т.е. сите целобројни вредности, вклучувајќи ја нулата од $-l$ до $+l$.

Секоја наелектризирана честица кога ротира околу некој центар, па така и електронот во атомот, создава кружна струја. Тоа значи дека на електронот припаѓа и определен **орбитален магнетен магнетен** $\vec{\mu}_l$ кој е повр-

зан со орбиталниот момент $\vec{l}$ на електронот преку релацијата:

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m_e} \vec{l} \quad (8)$$

каде што e и m_e се електричниот полнеж и масата на електронот. Според релацијата (8) векторите $\vec{\mu}_l$ и $\vec{l}$ се ориентирани во спротивна насока.

Ако се замени релацијата (5) за $\vec{l}$ во релацијата (8), тогаш врската меѓу бројните вредности на моментите $\vec{\mu}_l$ и $\vec{l}$ за електронот може да се запише вака:

$$\vec{\mu}_l = -\frac{e}{2m_e} \vec{l} = \sqrt{l(l+1)} \frac{e\hbar}{2m_e} = \mu_B \sqrt{l(l+1)} \quad (9)$$

Величината $\mu_B = \frac{e\hbar}{2m_e} = \frac{e\hbar}{4\pi m_e}$ којашто изнесува

$$\mu_B = 9,274 \cdot 10^{-24} \text{ Am}^2 = 9,274 \cdot 10^{-24} \text{ JT}^{-1}$$

е наречена **Боров магнетон за електрони**. Бидејќи атомот на водородот има само еден електрон, тогаш Боровиот магнетон го дава магнетниот диполен момент на атомот од водородот кога тој се наоѓа во основната невозбудена состојба. Експериментите покажуваат дека сите атоми имаат магнетни моменти од тој ред на големина.

Во квантната механика е докажано дека проекцијата l_z на векторот $\vec{l}$ и проекцијата μ_{lz} на векторот $\vec{\mu}_l$ по насоката на надворешно магнетно поле со индукција $\vec{B}$, може да прима само целобројни вредности на $\hbar$

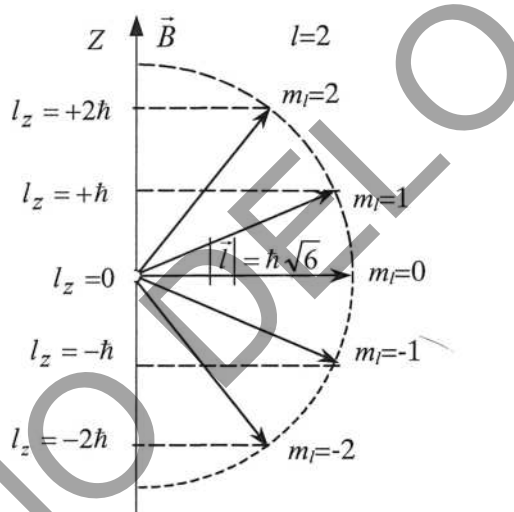
$$l_z = m_l \hbar = m_l \frac{h}{2\pi} \quad (10)$$

$$\mu_{lz} = \frac{e}{2m_e} l_z = m_l \frac{e}{2m_e} \frac{h}{2\pi} = m_l \mu_B \quad (11)$$

каде што m_l е **магнетниот квантен број**.

На сл. 3 се дадени можните ориентации на векторот $\vec{l}$ за $l=2$. По релацијата (7) магнетниот квантен број за $l=2$ ги добива следниве $(2l+1)=5$ вредности:

$m_l = -2, -1, 0, +1, +2$. По релацијата (10) за проекциите на орбиталниот момент $\vec{l}$, пак, имаме: $l_z = -2\hbar, -\hbar, 0, +\hbar, +2\hbar$.



Сл. 3. Можни ориентации на векторот $\vec{l}$ во однос на избрана насока во просторот

Во квантната механика не е квантуван само орбиталниот момент и орбиталниот магнетен момент на електронот, туку и нивните проекции долж оската Z , која се совпаѓа со насоката на надворешното магнетно поле.

Согласно на квантната механика енергијата на електронот во дадена состојба во атомот на водородот како и при Боровата теорија зависи само од главниот квантен број n . **Во состојбите со различни вредности на квантните броеви l, m_l , но со еднакви вредности на n електронот има една и иста енергија, т.е. се наоѓаат на едно и исто енергетско ниво. Таквите состојби се наречени дегенерирани.**

Во табелата 1 се дадени различните вредности на квантните броеви l и m_l за првите три вредности на главниот квантен број n .

Во табелата 1 можните вредности на енергијата на електронот за којшто постојат определени бранови функции се $E_1, E_2, \dots, E_n$ ($E_1 < E_2 < E_3 < \dots < E_n$). Тоа значи дека во атомот на водородот електронот се наоѓа во точно определени енергетски нивоа. Овој резултат добиен во квантната механика се совпаѓа со оној што се добива по Боровата теорија. Но, од табелата се гледа дека електронот со

една иста вредност на енергијата може да се најде во различни состојби определени со квантните броеви l и m_l .

Табела 1

E_n	n	l	m_l	$\Psi_{n l m_l}$
E_1	1	0	0	Ψ_{100}
E_2	2	0	0	Ψ_{200}
			-1	Ψ_{21-1}
		1	0	Ψ_{210}
			1	Ψ_{211}
E_3	3	0	0	Ψ_{300}
			-1	Ψ_{31-1}
			0	Ψ_{310}
		1	1	Ψ_{311}
			-2	Ψ_{32-2}
			-1	Ψ_{32-1}
		2	0	Ψ_{320}
			1	Ψ_{321}
			2	Ψ_{322}

Состојбата со $n=1$, наречена **основна**, има најмала енергија $E_1 = -hcR = -13,6 \text{ eV}$.

Имено, таква енергија од $13,6 \text{ eV}$ е неопходно да се предаде на електронот на водородниот атом, за да го напушти и атомот да се јонизира. Во основната состојба орбиталниот и магнетниот квантен број имаат една единствена вредност $l=0$, $m_l=0$. Шредингеровата равенка има само едно решение, т.е. постои само една стационарна состојба на електронот во атомот на водородот, во која енергијата му е E_1 . Брановата функција со која е опишана дадената состојба на електронот е Ψ_{100} .

Енергетското ниво определено со $n=2$, $E_2 = -E_1/4 = -3,4 \text{ eV}$ има четири состојби:

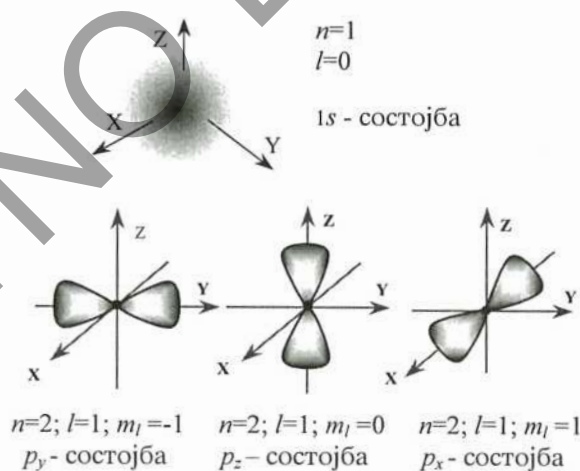
- а) $n=2, l=0, m_l=0$, s - состојба;
- б) $n=2, l=1, m_l=-1, 0, +1$, p - состојби.

Следното енергетско ниво определено со $n=3$, има енергија $E_3 = -E_1/9 = -1,51 \text{ eV}$. На тоа ниво одговараат 9 состојби, опишани со 9 различни бранови функции:

- а) $n=3, l=0, m_l=0$, s - состојба;
- б) $n=3, l=1, m_l=-1, 0, +1$, p - состојби;
- в) $n=3, l=2, m_l=-2, -1, 0, +1, +2$ d - состојби.

При E_n ($n>1$) бројот на состојбите на електронот со една иста енергија се зголемува за $n=2$ тие се четири, за $n=3$ се 9 итн. Општо во состојбите со различни вредности на квантните броеви l и m_l , но при дадена вредност на главниот квантен број n постојат n^2 различни состојби,

На пример, на првото возбудено енергетско ниво со енергија E_2 одговараат четири дегенерирани состојби на електронот во атомот на водородот, опишани со четири различни бранови функции. Брановите функции коишто ја опишуваат состојбата на електронот кај водородниот атом, како и на електроните во сложените (повеќеелектронски) атоми, се решенија на Шредингеровата равенка.



Сл. 4. Гранични површини за $1s$, p_x , p_y и p_z состојбиите во атомот на водородот

Брановите функции (види табела 1) при различни n , l и m_l се разликуваат. Тоа означува дека при различни n , l и m_l е различна веројатноста да се најде електронот на дадено место во атомот на водородот. Различните веројатности за просторната распределба на електронот можеме да ги претставиме во поларни координати. На сл.4 се дадени сликовито граничните површини во кои агловната распределба на веројатноста да се најде електронот во просторот на состојбите, означени на сликата со вредностите за n , l и m_l , е најголема.

Како што се гледа во s -состојбата електронскиот облак има сферична (топчеста) фор-

ма. Затоа водородниот атом со $l=0$ има еднакви својства во сите насоки во просторот. Во состојбите со $l=1$ (p_x ; p_y ; p_z) електронскиот облак има форма на т.н. просторна осумка (сл. 4) соодветно ориентирана по оските X ; Y , Z .

Во состојбите со $l=2$ (d -состојби), кои се вкупно 5, електронскиот облак има форма на четири симетрично затворени површини кои се допираат една со друга. Формата на електронскиот облак за $l=3$ (f -состојби) е посложена.

Формата на електронскиот облак во дадена состојба на електронот е определена со орбиталниот квантен број l , додека, пак, поставеноста на електронскиот облак во однос на одделните оски од правоаголниот координатен систем во просторот е определена со магнетниот квантен број m_l .

Во наставата по хемија за состојбите на електроните во атомот опишани со брановата функција, која зависи од трите квантни броја, n ; l ; m_l , се користи терминот орбитали. Така имаме s -; p -; d -; f - орбитали во коишто може да се наоѓаат електроните.

ПРИМЕР 1. Во водородниот атом: а) да се определи големината на орбиталниот момент $\vec{l}$ за електронот во p -состојбата; б) да се дефинираат компонентите на орбиталниот момент $\vec{l}$ долж Z -оската на електроните во p -состојбата.

Решение: а) орбиталниот квантен број за p -електроните $l=1$. Од релацијата (5) за големината на $|\vec{l}|$ се довива:

$$\sqrt{2} \hbar = \sqrt{2} \frac{h}{2\pi} = 1,49 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

б) големината на проекцијата е $l_z = m_l \frac{h}{2\pi}$
За $l=1$, $m_l = -1, 0, +1$; $l_z = -\frac{h}{2\pi}$; 0 ; $l_z = +\frac{h}{2\pi}$



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Врз кои теории е создадена квантната механика?

2. Кои недостатоци на Боровиот модел

на атомот ги надмина квантномеханичкиот модел?

3. Дајте образложение од што зависи брановата функција, каква величина преставува и како може да се запише?

4. Дајте објаснување на тврдењето "електронот во водородниот атом формира електронски одлак". Како овој облак се согласува со преставата за електронот како честица?

5. Кои се квантните броеви со кои е определена состојбата на електронот во атомот? Дајте ги нивните вредности.

6. Кој квантен број ја определува формата на електронскиот облак, а кој неговата ориентација во просторот?

7. Водородниот се најдува во квантна состојба со главен квантен број $n=4$, во кои состојби може да се најде електронот за дадена вредност на орбиталниот квантен број l ?

8. Електрон се најдува во состојбата со орбитален квантен број $l=3$. Колку различни вредности има магнетниот квантен број m_l ?

9. Каква форма имаат состојбите на електронот за $l=1$ и како се означуваат?

10. Кои се можните состојби на електронот во водородниот атом со главен квантен број $n=3$, а орбитален квантен број $l=2$?



Е. Шредингер



М. Дирак

Е. Шредингер (Erwin Schrödinger, 1887-1961) е роден во Виена каде и ги завршил студиите, докторирал во 1910 год. Бил професор во Цирих, а потоа во Берлин како наследник на М. Планк. Поаѓајќи од Де Бролиевиот корпускуларно бранов дуализам на материјата, Шредингер го развил квантномеханичкиот модел на атомот кој е основа на современите сфаќања за структурата на атомот.

Во 1933 година Шредингер ја поделил Нобеловата награда за физика со П. А. М. Дирак кој ја развил релативистичката квантна механика.

М. Дирак во 1928 година покажал дека спинот на електронот е неопходна релативистичка квантна последица.

АТОМИ СО ПОВЕЌЕ ЕЛЕКТРОНИ

Својствата на инертниот гас неон (Ne) и на алкалниот метал натриум (Na) многу се различни, независно од тоа што неонот ($Z=10$) и натриумот ($Z=11$) имаат редни броеви еден до друг во периодниот систем на елементите. Како што знаеме редниот број на даден хемиски елемент е еднаков на бројот на електроните коишто се наоѓаат во неговата електронска обвивка. Зошто атомите коишто сосема малку се разликуваат по бројот на електроните имаат толку големи разлики?

Физичките и хемиските својства на атомите се определени од начинот по којшто електроните се распределени во просторот околу атомското јадро. Квантната состојба на секој електрон во атомот со повеќе електрони се карактеризира со четирите квантни броја:

- главен квантен број n
- орбитален квантен број l
- магнетен квантен број m_l
- магнетен квантен број на спинот m_s

Квантната состојба на атомот како целина и неговите својства се определени од тоа кои од можните електронски состојби се пополнети со електрони. Можно ли е два или повеќе електрони да се наоѓаат во една иста квантна состојба? Одговор на тоа исклучително важно прашање за физиката на микросветот даде швајцарскиот физичар В. Паули, кој во 1925 година го формулира квантномеханичкиот **принцип** наречен **Паулиев принцип**.

Паулиевият принцип гласи: **Во еден квантномеханички систем не можат да постојат две честички кои имаат иста квантна состојба (во една и иста квантна состојба).**

Овој принцип се нарекува, исто така, **принцип на забрана** или принцип на исклучување. Тој важи не само за електронот, туку и за другите елементарни честички со полуцело-броен спин - за сите т.н. **фермиони**.

Во однос на атомот, тоа значи дека сите четир: квантни броеви: n, l, m_l, m_s за некој електрон во еден атом не можат да се совпа-

ѓаат со сите четири квантни броеви за друг електрон во истиот атом. Значи, во атомот не можат да постојат два електрона за кои сите четири квантни броеви се еднакви. Со други зборови кажано, *во атомот сите квантни состојби на електроните се различни, во една иста состојба не може едновременно да се наоѓаат два електрона*.

Во поглавјето 3.5, видовме дека за даден главен квантен број n , во атомот на водородот, одговараат повеќе можни состојби за електронот. Дадена состојба на електроните во атомот со повеќе електрони е определена со четирите квантни броја: n, l, m_l, m_s . Нека на сите електрони им се еднакви трите квантни броеви n, l, m_l . Тогаш електроните во дадената состојба ќе се разликуваат само по магнетниот квантен број на спинот m_s . Бидејќи m_s може да има само две вредности $m_s = 1/2$ и $m_s = -1/2$, според Паулиевият принцип, можниот број електрони $N(n, l, m_l)$ во дадената состојба, со еднакви сите три квантни броеви, ќе биде 2, односно:

$$N(n, l, m_l) = 2 \quad (1)$$

Магнетниот квантен број m_l може да има $(2l+1)$ вредности за дадена вредност на орбиталниот квантен број l , а магнетен квантен број на спинот m_s има 2 вредности. Според тоа, максималниот број електрони N_l , во атомот чии состојби се определени со квантните броеви n и l , т.е. на кои им се еднакви овие два квантни броеви, согласно на Паулиевият принцип, ќе биде:

$$N_l(n, l) = 2(2l+1) \quad (2)$$

Максималниот број електрони $N_l(n, l)$, по релацијата (2), за состојбите: s, p, d, f, g , во атомот за дадени бројни вредности на орбиталниот квантен број l е:

L	0	1	2	3	4
СОСТОЈБИ НА ЕЛЕКТРОНИТЕ	s	p	d	f	g
БРОЈ НА ЕЛЕКТРОНИ $N_l(n, l)$	2	6	10	14	18

Ако се изврши сумирање на десната страна од релацијата (2) за вредностите на

орбиталниот квантен број l од 0 до $(n-1)$, тогаш за максималниот број електрони $N_2(n)$ во состојбите на атомот определени само со главниот квантен број n се добива:

$$N_2(n) = \sum_{l=0}^{l=n-1} 2(2l+1) = 2 [n + (n-1)n] = 2n^2 \quad (3)$$

Според тоа во состојбите определени со вредностите на n можат да се наоѓаат во атомот не повеќе од $2n^2$ електрони:

$n=1$ може да има 2 електрони,
 $n=2$ може да има 8 електрони,
 $n=3$ може да има 18 електрони,
 $n=4$ може да има 32 електрони,
 $n=5$ може да има 50 електрони итн,

Максималниот број електрони $N_1(n, l)$, по релацијата (2), во состојбите (s, p, d, f, g) за дадени вредности на орбиталниот квантен број l и максималниот број електрони N_2 во состојбите определени со вредностите на главниот квантен број n се дадени во табела 1.

Севкупноста од електрони во квантните состојби на атомот кои имаат една иста вредност на главниот квантен број n прават една целина - **електронски слој**. Означувањето на електронските слоеви е поврзано со спектроскопијата на рендгенските зраци. Во зависност од вредноста на главниот квантен број n , електронските слоеви во атомот се означуваат на следниов начин:

ВРЕДНОСТИ НА	$n=1$	2	3	4	5	6	7
ОЗНАЧУВАЊЕ НА СЛОЈ		K	L	M	N	O	P
							Q

Електроните што припаѓаат на еден ист електронски слој во атомот се групираат и

според вредноста на орбиталниот квантен број l . Сите електрони од еден слој, чија квантна состојба е определена со ист орбитален квантен број l , даваат еден **потслој** (исто n и l). Во зависност од орбиталниот квантен број l , потслоевите се означуваат на следниов начин:

ВРЕДНОСТИ НА	$l=$	0	1	2	3	4
ОЗНАЧУВАЊЕ НА ПОТСЛОЈ		s	p	d	f	g

Бројот на електроните во секој потслој со даден орбитален квантен број l , определен со релацијата (2) е еднаков со бројот на електроните во состојбите.

Максималниот број електрони во даден слој е еднаков на збирот од максималниот број електрони на сите потслојеви и по релацијата (3) изнесува $2n^2$.

Сите електронски слоеви, освен K -слојот, содржат потслојеви кои одговараат на различна вредност на орбиталниот квантен број l .

Првиот K слој ($n=1$), кој е најблизок до атомското јадро, има само еден потслој, односно едно $1s$ енергетско ниво со две различни состојби за електроните. Во него можат да се најдат само два електрона.

Вториот L слој ($n=2$) има два потслоја, и тоа $2s$ и $2p$. Слојот M ($n=3$) има $3s$, $3p$ и $3d$ потслојеви. Слојот N ($n=4$) има 4 потслојеви, и тоа: $4s$, $4p$, $4d$ и $4f$ итн.

Ако не важеше Паулиевият принцип тогаш би следувало дека во секој атом сите електрони би требало да се најдат во состојбата со најмала енергија. Со тоа би исчезнале различните својства на хемиските елементи. Природата немаше да постои во ваков вид, во којшто ја познаваме, но реално во повеќе-

Табела 1.

n	БРОЈ НА ЕЛЕКТРОНИ ВО ПОТСЛОЈ $2(2l+1)$					МАКСИМАЛЕН БРОЈ НА ЕЛЕКТРОНИ ВО СЛОЈ $2n^2$
	$s(l=0)$	$p(l=1)$	$d(l=2)$	$f(l=3)$	$g(l=4)$	
1	2	-	-	-	-	2
2	2	6	-	-	-	8
3	2	6	10	-	-	18
4	2	6	10	14	-	32
5	2	6	10	14	18	50

електронските атоми електроните ја пополнуваат не само состојбата со минимална енергија, но и дел од состојбите со поголема енергија при коишто строго се запазува Паулиевият принцип.

Состојбата во којашто енергијата на атомот е минимална е наречена **основна состојба**. Во неа електроните имаат најмала можна енергија, којашто ја дозволува Паулиевият принцип. Колку еден електрон се наоѓа поблизу до јадрото толку е помала неговата енергија (кинетичка + потенцијална). Средното растојание меѓу електроните и јадрото се зголемува со зголемувањето на вредностите на главниот квантен број n или, пак, на орбиталниот квантен број l (при зададен n – во даден слој). Следува дека енергијата на електроните се зголемува со зголемувањето на n и l . Најмала е енергијата на состојбата со најмали вредности на n и l , т.е. на состојбата со $n=1$ и $l=0$ ($1s$ – состојбата).

Енергетските нивоа на електроните во атомите со повеќе електрони, поради интеракцијата на електроните еден со друг како и со атомското јадро, зависат не само од главниот квантен број n , но и од орбиталниот квантен број l . Заемното одбивање меѓу електроните зависи од вредностите на l и тоа води до т.н. расцепување на енергетските нивоа, т.е. од едно ниво со определена вредност на n се добиваат неколку нивоа со различни енергии. При тоа бројот на состојбите останува непроменет. Поради зависност на енергијата од n и l (а не само од главниот квантен број n , како кај водородниот атом) и спектрите на атомите со повеќе електрони се посложени.

Со зголемувањето на полнежот на атомското јадро $+Ze$, каде што Z е атомскиот број, се зголемува по модул и енергијата на заемното дејство меѓу јадрото и електроните, којашто е пропорционална со Z^2 . Поради тоа во спектрите на атомите со голем атомски број Z премините со учество на електроните од внатрешните слоеви ($n=1, 2$) одговараат на фреквенции од ултравиолетовата и рендгенската спектрална област (карактеристични рендгенски зраци). Во исто време премините на електроните во надворешните слоеви водат до емитување на бранови со фреквенции во видливата и инфрацрвената област.

Електроните кои се наоѓаат во даден слој определен со n и потслој l го носат името на потслојот. На пример, електронот кој се наоѓа во L -слојот ($n=2$) и во s – потслојот ($l=0$) се означува со $2s$ (бројот го означува слојот, а буквата потслојот). Тоа значи дека електроните во атомот се наречени $s, p, d, f, g, \dots$ електрони.

Сите електронски слоеви во атомот претставуваат **електронска обвивка** или **електронски облак**. За бројот електрони кои се наоѓаат во некој потслој, исто така, е воведен начин на означување, на пример, ознаката $3p^2$ означува дека во M – слојот ($n=3$), на p – потслојот ($l=1$), се наоѓаат два електрона.

Велиме дека со бројот на електрони во состојбите определени со квантните броеви n и l е дадена електронската структура на атомот, од даден елемент во основната состојба, наречена **електронска конфигурација**. Така електронската конфигурација за атомот на водородот во основната состојба е $1s^2$. За атомот на натриумот Na ($Z=11$) во основната состојба е – $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$.

Ќе укажеме како настанува распределбата на електроните во атомите на хемиските елементи според енергетските состојби. Може приближно да се претпостави, дека атомот на секој нареден елемент во периодниот систем настанува со додавање кон атомското јадро по еден протон и по еден електрон. Но, ваквата претпоставка е само приближна.

Со порастот на главниот квантен број n , d – електроните во даден слој имаат повисока енергија од s – електроните во следниот слој. Затоа $4s$ – состојбата се пополнува пред $3d$ – состојбата, а $6s$ – состојбата е пополнета пред $4f$ – состојбата. Притоа, важи емпириското правило **најпрво се пополнуваат поисловите за кои збирот $n+l$ е помал**. Според тоа, редоследот според кој електроните ги пополнуваат потслоевите е следниов:

$1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 4s, 3d, 4p, 5s, 4d, 5p, 6s$

Електронската структура на првите 14 елементи од периодниот систем е прикажана на сл. 1. Хемиските својства на елементите зависат од степенот на пополнување на одделните слоеви со електрони. На пример, хелиумот (He) и неонот (Ne) се инертни гасови, кои-

М- слој $l=2$ $n=3 \begin{cases} m=0, \pm 1, \pm 2 \\ l=1, m=0, \pm 1 \\ l=0, m=0 \end{cases}$														
Л- слој $n=2 \begin{cases} l=1, m=0, \pm 1 \\ l=0, m=0 \end{cases}$														
К слој $n=1 \begin{cases} l=0, m=0 \end{cases}$														
Елемент Z	H 1	He 2	Li 3	Be 4	B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10	Na 11	Mg 12	Al 13	Si 14

Сл. 1. Електронска структура на атомите на првите 14 елементи од Менделеевиот периоден систем. Точките ги означуваат електроните во атомите

што покажуваат многу ниска хемиска активност и скоро не учествуваат во хемиски реакции. Причината за тоа е што нивните слоеви се или потполно пополнети со електрони или се празни. Сите електрони од целосно пополнетиот слој се многу силно сврзани во атомот и затоа таквите атоми се многу стабилни; тие тешко примаат или отпуштаат електрони. Кај хелиумот е пополнет само К-слојот, а кај неонот се пополнети К- и Л- слојот (сл. 1). Од друга страна, алкалните метали литиум (Li) и натриум (Na) хемиски се многу активни бидејќи имаат по еден дополнителен електрон надвор од пополнетите слоеви. Тоа се т.н. **валентни електрони** кои се послабо сврзани со атомот, затоа атомот лесно ги отпушта при хемиските реакции.

3. Колку состојби има во слојот L определен со главниот квантен број $n=2$ и колкав е максималниот број на електрони во слојот?

4. Колку потслоеви има во слојот M и колку електрони може да се најдат во секој потслој?

5. Што е тоа електронска конфигурација на атомот?

6. Подреди ги според нивната енергија состојбите: $2s, 4p, 3d, 1s, 2p, 3s, 3p, 4s$.



В. Паули (Wolfgang Ernst Pauli, 1900-1958) е роден во Виена. Дипломирал на Универзитетот во Минхен, а докторирал во 1921 год. Работел како асистент на М. Борн во Гетинген, и на Н. Бор во Копенхаген. Бил професор по теориска физика во Цирих. Во 1945 година добил Нобелова награда за физика.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Со кои четири квантни броја се карактеризира состојбата на електронот во атомот и кои се нивните вредности?

2. Како гласи Паулиев принцип и за кои микрочестици важи?



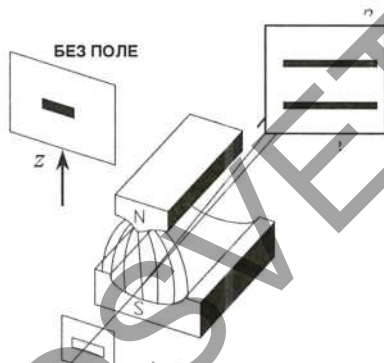
Да научите повеќе отворете ги следните Интернет страници:

http://www.uiowa.edu/~c004132/ATOMIC_ORBITALS.html

3.6. СПИН

Во 1924 година германските физичари О. Штерн и В. Герлах го извеле следниот експеримент: во евакуирана стаклена цевка (притисок од редот 10^{-3} Pa) атомите на сребро, добиени при испарување на загреано сребрено топче, се пуштаат да поминат низ една правоаголна пукнатина. Потоа, овие атоми наидуваат на силно нехомогено магнетно поле, добиено со специјално обликување на половите, како што е прикажано на сл. 1.

Ориентацијата на полето е нормална на движењето на атомите. При минувањето низ силното нехомогено магнетно поле снопот се дели на два дела, коишто се отклонуваат во спротивни насоки и формираат две црти врз фотоплочата поставена нормално на движењето (сл. 1).



Сл. 1. Шема на Штерн-Герлаховиот експеримент

Според нив, тоа значело дека орбиталниот магнетен момент на атомот од сребро (мерен при ваков експеримент) има две можни ориентации во магнетното поле. Атомот на среброто, како и на останатите елементи од првата група на периодниот систем на елементите, има валентен електрон кој се наоѓа во $5s$ – состојбата ($n=5$, $l=0$), кога атомот е во основната невозбудена состојба, а му одговара орбитален квантен број $l=0$. Според тоа во s состојба за $l=0$ електронот нема орбитален момент на импулсот ($|\vec{l}|=0$), како што следува од релацијата (5), во поглавјето 3.5, нема ни

орбитален магнетен момент ($\mu_l=0$). Според тоа, едноелектронскиот атом би требало да биде дијамагнетичен во неговата основна состојба, кога има еден валентен електрон во надворешниот слој (како што е атомот на среброто) и сите други електрони се во пополнетите слоеви.

Поради тоа се појавиле сериозни тешкотии при објаснувањето на овој експеримент, бидејќи било сосема јасно дека не се работи за никакво просторно квантување на орбиталниот магнетен момент. Оваа тешкотија (а и многу други, покасно забележани) ја отстраниле во 1927 година С. Гаудсмит и Г. Уленбек со претпоставката за постоење на *сојсџивен момент* на импулсот на електронот $\vec{s}$, наречен *спин на електронот* (англиски to spin – се врти) и *сојсџивен магнетен момент* $\vec{\mu}_s$.

Но, овде веднаш ќе нагласиме дека вакото објаснување за воведувањето на спинот на електронот не е во согласност со сфаќањето во современата физика. **Имено спинот на електронот треба да се сфаќа како една карактеристична величина за секоја елементарна честичка како што се масата, електричниот полнеж итн.**

П. Дирак 1928 година покажа дека спинот на електронот е неопходна последица на релативистичката квантна теорија.

Механичкиот модел за спинот како ротација на електронот околу некоја сопствена оска се покажа неодржлив. На пример, за да се добие магнетен момент еднаков на еден Боров магнетон, аголната брзина треба да е таква што линиската брзина на површината на електронот треба 300 пати да ја надминува брзината на светлината, или димензијата на електронот да е околу 10^{-12} m.

Спинот е физичка карактеристика не само на електроните, туку и на сите други честичи, а и на цели атоми. Спинот може да прима полуцелобројни вредности ($1/2$, $3/2$, $5/2$...) или целобројни вредности (0 , 1 , 2 , 3 ...) од $\hbar$. Некои особини на честичите зависат од тоа дали нивниот спин е цел или полуцел број. Честичите со целоброен спин (фотонот, неутриното) се наречени **бозони**, а честичите со полуцелоброен спин (електрон, неутрон) се наречени **фермиони**.

Вкупниот м-омент $\vec{j}$ на електронот, се состои од орбиталниот момент $\vec{l}$, кој доаѓа од движењето на електронот околу атомското јадро и од сопствениот момент или спинот $\vec{s}$

$$\vec{j} = \vec{l} + \vec{s} \quad (1)$$

Со спинот на електронот $\vec{s}$ е поврзан и сопствен (спински) магнетен момент $\vec{\mu}_s$ на електронот.

Од квантната механика следува дека спинот мора да биде квантуван по законот:

$$|\vec{s}| = \sqrt{s(s+1)} \hbar = \sqrt{s(s+1)} \frac{h}{2\pi}, \quad (2)$$

каде што s е квантен број на спинот, кој за електронот е $1/2$.

И векторот $\vec{s}$, аналогно на $\vec{l}$, може да има $(2s+1)$ ориентација во просторот. Значи во надворешно магнетно поле со индукција $\vec{B}$, ориентацијата на векторот $\vec{s}$ може да биде само таква што неговата проекција s_z по Z -оската е квантувана величина, дадена со релацијата:

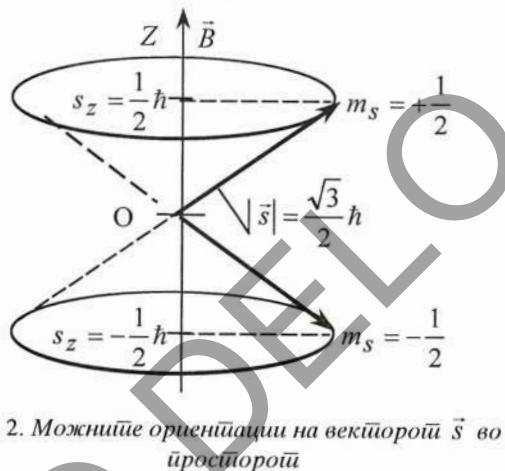
$$s_z = m_s \hbar = m_s \frac{h}{2\pi}, \quad (3)$$

каде што m_s - *магнетен квантен број на спинот*. Од експериментот на О. Штерн и В. Герлах следува, дека за спинот $\vec{s}$ на електронот постојат само две можни ориентации, за кои што $2s+1=2$. Магнетниот квантен број на спинот може да ги има само следниве две вредности, и тоа: $m_s = \pm s = \pm \frac{1}{2}$. Оттука следува дека и проекцијата на спинот s_z во надворешното магнетно поле долж Z -оската може да има само две вредности:

$$s_z = \pm m_s \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar = \pm \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi} \quad (4)$$

На сл. 2 се претставени двете проекции на векторот $\vec{s}$, по насоката на полето $\frac{1}{2}\hbar$, и во спротивна насока на полето $-\frac{1}{2}\hbar$. Често

$m_s = 1/2$ се означува како "спин горе" ($\uparrow$), а $m_s = -1/2$ како "спин доле" ($\downarrow$).



Сл. 2. Можните ориентации на векторот $\vec{s}$ во просторот

Бидејќи атомот на среброто има атомско јадро со позитивен електричен полнеж $+Ze$ и еден валентен електрон, како и атомот на водородот, вкупниот орбитален момент $\vec{j}$ на електронот, по релацијата (1), во стварност е и *вкупен или внатрешен момент $\vec{j}$ на атомот*. Според тоа, внатрешниот момент на атомите од среброто во s - состојбата е само спински $\vec{s}$ (бидејќи орбиталниот момент е еднаков на нула $\vec{l} = 0$).

На тој начин поради бројната вредност на внатрешниот момент на атомот, еднаква на проекциите од спинот s_z на електронот ($\pm \frac{1}{2}\hbar$), снопот од атоми на среброто во надворешно магнетно поле се разделува на два еднакви дела. Едната црта ја оставаат атомите на среброто со магнетен момент паралелен со магнетното поле, а другата атомите со антипаралелен магнетен момент. Со тоа хипотезата за спинот на полно е разјаснета.

Врската меѓу спинскиот магнетен момент $\vec{\mu}_s$ и спинот $\vec{s}$ на електронот со електричен полнеж e и маса m_e е дадена со:

$$\vec{\mu}_s = -\frac{e}{m_e} \vec{s}, \quad (5)$$

За можната вредност на проекцијата μ_{sz} при

ориентацијата на спинскиот магнетен момент $\vec{\mu}_s$ на електронот во надворешно магнетно поле се добива:

$$\mu_{sz} = \frac{e}{m_e} s_z = \pm \frac{e}{m_e} \frac{1}{2} \hbar = \pm \frac{eh}{4\pi m_e} = \pm \mu_B \quad (6)$$

Проекцијата μ_{sz} на спинскиот магнетен момент на електронот е еднаква на Боровиот магнетон μ_B .

Така со воведувањето на спинот на електронот и неговиот спински магнетен момент биле создадени услови да се објасни фината структура на спектралните линии.

Во надворешно магнетно поле (како и во магнетното поле создадено како резултат на орбиталното движење на електронот) енергијата на електронот во атомот за двете ориентации на спинот е различна. Таа мала разлика во енергијата води до фина структура (цепење) на енергетските нивоа на атомот. Како резултат на тоа спектралните линии кои со спектрален апарат со мала разделна моќ се набљудуваат како една линија, со спектрален апарат со голема разделна моќ се набљудуваат како две блиски спектрални линии.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои биле објективните тешкотии при објаснувањето на Штерн-Герлаховиот експеримент и како биле отстранети?

2. Дали спинот има свој аналог во класичната физика и што, всушност, претставува?

3. На што е рамен вкупниот (внатрешниот) момент на електронот?

4. Каква е врската меѓу спинот на електронот и спинскиот магнетен момент. Како се ориентирани овие вектори?

5. Да се определи линиската брзина на електронот при ротација околу сопствената оската. Масата на електронот $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$, неговиот радиус $R = 2,8 \cdot 10^{-15} \text{ m}$. Моментот на инерција на топка со радиус R е $I = \frac{2}{5} m_e R^2$.

$$(\text{Одговор: } v = \frac{5\hbar}{8\pi m_e R} \approx 5 \cdot 10^{10} \text{ m/s})$$

3.7. СПЕКТРОСКОПИЈА

Спектроскопијата е дел од физиката што се занимава со проучување на квалитативниот и квантитативниот состав на електромагнетното зрачење емитувано, апсорбирано, расејано или одбиено од супстанцијата.

Сите тела во природата, помалку или повеќе, претставуваат извори на електромагнетни бранови. *Електромагнетното зрачење од даденото тело (супстанција) разложено по бранови должини, односно по фреквенции се вика **спектар**.*

Сите до денес познати електромагнетни зрачења, подредени по бранови должини во интервал од 10^{-14} m до 10^2 m (или фреквенции од 10^{22} Hz до 10^6 Hz), го сочинуваат целокупниот *електромагнетен спектар*.

Видливата светлина зафаќа сосема мал дел од целокупниот спектар на електромагнетни бранови. Тоа се електромагнетни бранови со бранова должина од 400 до 760 nm на кои човечкото око единствено е осетливо.

Инфрацрвената, видливата и ултравиолетовата област ја сочинуваат таканаречената оптичка област од електромагнетниот спектар (10^5 до 10 nm). Електромагнетните бранови од оптичката област настапуваат при процесите кои се одвиваат во атомите, молекулите и јоните на супстанциите, а се детектираат со фотофилмови, фотоелектрични ефекти и други методи.

Брановата област од електромагнетниот спектар (760 nm - 400 000 nm) во која постои инфрацрвено зрачење (IC) се вика *инфрацрвена област на спектарот*.

За проучување на инфрацрвената област постои експериментална техника наречена *инфрацрвена спектроскопија*. За регистрирање на инфрацрвените зраци се користат детектори на слаби топлински ефекти (термоелементи, болометри и разни други радиометри). Како интензивни извори за инфрацрвено зрачење во инфрацрвената спектроскопија се користат загреани тела до црвена или бела боја, изработени во вид на цилиндри од оксиди на елементите од ретките земји или карбиди.

Оптичките стакла (флинт и крон) не ги пропуштаат инфрацрвените зраци, поради тоа оптичките елементи (призма, леќи), кај спектралните апарати се изработуваат од сафир (Al_2O_3) или сол (NaCl , KCl).

Брановата област од 400 nm до 10 nm во која постои ултравиолетовото зрачење (UV), се вика *ултравиолетовата област на спектарот*. Денес за проучување на ултравиолетовата област постои експериментална техника наречена *ултравиолетова спектроскопија*.

Бидејќи оптичките стакла (крон и флинт) не ги пропуштаат UV зраците при нивната анализа, оптичките елементи (призма, леќи) во спектралните апарати се од кварц (SiO_2) и флуорид (CaF_2) или специјални стакла.

Сончевиот спектар е прекинат поради апсорпцијата на UV зрачење со бранова должина помала од 290 nm од слоевите на озон. Ултравиолетовото зрачење со бранова должина помала од 195 nm го апсорбира кислородот и водената пареа, а литиум флуоридот го апсорбира UV зрачењето со бранова должина помала од 125 nm. Проучувањето на зрачење во бранов интервал од 200 nm до 125 nm се прави во вакуум, поради што оваа област се нарекува *вакуумна ултравиолетова област*.

Извори на UV зрачење претставуваат гасните ламби. Водородната гасна ламба емитува ултравиолетово зрачење со бранова должина до 190 nm. Извори на UV зрачење со пократки бранови должини се ламбите со инертни гасови, на пример, ксенонова ламба.

Како детектори на UV зрачење се користат само фотографски материјали, фотомултипликатори, како и фотодиоди.

1. СПЕКТРАЛНИ АПАРАТИ

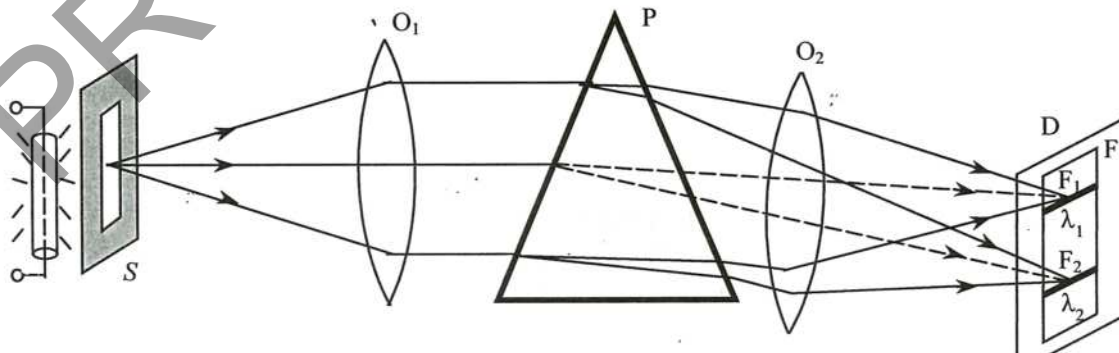
Добивањето на спектар на електромагнетните зрачења од оптичката област наоѓа широка примена во научни и практични задачи. Во најопшт случај се користи за:

- анализа на зрачењето од непознат извор;
- добивање на монохроматски извор на светлина.

И во двата случаи е потребен *спектрален апарат* за разложување на светлината. За разложување на електромагнетните бранови од оптичката област, т.е. за добивање на спектар се користи *оптичката призма и дифракционата мрежичка*. (Принципот за добивање на спектарот на белата светлина со оптичка призма и дифракциона мрежичка е даден во учебникот по физика за III година - точка 1.4 и 1.7. Со цел спектарот да биде што е можно појасен, т.е. различните спектрални делови да бидат што подобро разделени, спектралните апарати имаат сложена конструкција.

Спектралниот апарат (сл. 1) е изграден од следните главни делови: *процеп S*, *дисперзионен елемент P*, *фокусирачки дел*, што ги содржи *објективите O₁ и O₂* и *дејекторот на светлината D*. Фокусирачкиот дел се состои од: 1. *колимаџор K* - што го содржи *колимаџорниот објектив O₁* и *процепот S* и 2. *камера* - што го содржи *камерениот објектив O₂*.

Оваа шема дејствува оптички на следниов начин: Испитуваната сложена светлина се пропушта преку тесниот процеп S, поставен во фокалната рамнина на објективот O₁, кој дава паралелен сноп што паѓа на дисперзионот



Сл. 1. Оптичка шема на спектрален апарат.

елемент Р (сл. 1). При минувањето низ Р снопот од сложената светлина се разложува на толку паралелни снопови колку што различни бранови должини се содржат во него. Овие снопови зафаќаат определен агол помеѓу себе, зависно од својствата на дисперзиониот елемент. Објективот O_2 поставен на нивниот пат ги собира во неговата фокална рамнина F . Секој сноп паѓа на местото $F_1, F_2, \dots$, што одговара на аголот под кој неговите зраци паѓаат на камерниот објектив и од брановата должина. Разложената светлина се регистрира од детекторот D , поставен со неговата светлински осетлива површина во фокалната рамнина на објективот O_2 . Според тоа, ако на процепот од спектралниот апарат паѓа сноп од сложена светлина, тогаш во фокалната рамнина од објективот O_2 ќе се појават толку монохроматски ликови на процепот колку што различни бранови должини се наоѓаат во снопот. Секој монохроматски лик претставува една спектрална линија со определена бранова должина, што одговара на една од фреквенциите заедани во сложената светлина.

Севкупноста од сите монохроматски ликови на процепот, добиели во фокалната рамнина на камерниот објектив, претставува спектар на сложената светлина. Ако во фокалната рамнина F поставиме матово стакло или фотографска плоча, тогаш на нив добиваме јасна слика на спектарот.

Во зависност од типот на детекторот на светлината се разликуваат следните видови на спектралните апарати. Спектралните апарати кај кои спектарот се добива на соодветно избрана фотоплоча или план филм се познати како *спектрофотографи*. Кај спектралните апарати што се употребуваат во видливиот дел од оптичката спектрална област, камерата е заменета со дурбин, а спектарот се набљудува со голо око. Ваквите спектрални апарати наменети за визуелна спектроскопија се познати како *спектроскопи*.

Некои спектроскопи се снабдени со скала на која директно може да се прочита брановата должина на спектралните линии и нивните интензитети. Спектралните апарати, пак, во кои директно се регистрираат спектрите со детектори што го користат фотоелектричното дејство - фотомултипликатори и фотодиоди

или топлинското дејство - болометри и термоелементи, на електромагнетните зрачења се познати како *спектрометри* или *спектрофотометри*, а во атомската спектроскопија - *квантуметри*.

При спектрометрите може во фокалната рамнина на камерниот објектив да се постави втор процеп - *излез* и служи да оддели од спектарот само една бранова должина, т.е. само една спектрална линија. Таквиот спектрален апарат е наречен *монохроматор*, односно *полихроматор*, ако има повеќе излези процепи. Ваквиот спектрален апарат - монохроматор може да служи како извор на монохроматски зрачење.

Детекторот, поставен позади излезниот процеп, ги претвора светлинските сигнали во електрични, кои се мерат со соодветен прибор. Така се добива распределба на интензитетот на светлината во зависност од брановата должина, т.е. спектар на изворот на светлината.

Според типот на дисперзниот елемент спектралните апарати, главно, се делат на:

- *призмени*, при кои за разложување на светлината се користи призма или систем од призми;

- *дифракциони*, кои користат дифракциони мрежички.

За зрачењата во далечната инфрацрвена област ($50000 \text{ nm} - 400000 \text{ nm}$), како и во далечната ултравиолетова област, под 121 nm , не постојат познати прозрачни оптички материјали. Поради тоа во овие области за разложување на зрачењата, како дисперзни елементи, во спектралните апарати се користат дифракциони мрежички. Кај спектралните апарати најчесто се користат *рамни* или *вдлабни* рефлексии мрежички. За различни спектрални области се користат дифракциони мрежички со различни константи.

Спектралните апарати имаат свои карактеристики кои зависат, пред сè, од дисперзниот елемент (призмата и дифракционата мрежичка), како и од останатите елементи што влегуваат во нивниот состав. Постојат спектрални апарати со мала и голема разделна моќ.

Спектралниот апарат има голема разделна моќ кога две блиски спектрални линии чии бранови должини се разликуваат само за $\Delta\lambda = 0,01 \text{ nm}$ може да ги раздвои една од друга.

2. ВИДОВИ СПЕКТРИ

ЕМИСИОНИ СПЕКТРИ

Кога супстанциите ќе се загреат или озрачат со електромагнетно зрачење, нивните атоми или молекули апсорбираат енергија и се возбуждаат. Тогаш атомите и молекулите стануваат извори на електромагнетни бранови, поконкретно на светлина.

Спектрите што се добиваат при непосредно разложување на светлината емитувана од супстанциите (телата) се нарекуваат *емисиони спектри*. Емисионите спектри можат да бидат од три типа и одговараат на различните состојби на супстанцијата: *линиски*; *ленџесџи*, *континуирани* (*непрекинати*).

Испитувањата покажуваат дека типот на спектарот е определен од карактеристиките на телото што свети, односно што апсорбира светлина.

Линиски спектри (сл. 2). Кога на електродите на стаклена цевка (гајслерова цевка) полна со атомарен гас, при низок притисок се приклучи прав напон, во неа протекува електрично празнење низ гасот и притоа се емитира светлина. При анализа на светлината со спектроскоп се набљудуваат одделни тесни линии со различна боја и интензитет, разделени

со темни меѓурастојанија. Односно, се набљудува линиски спектар на атомите на супстанцијата во гасна состојба.

Линиските спектри се карактеристични за светењето на гасови или пареи од метали и течности со мала густина. Линиските спектри потекнуваат од атоми или јони на атоми што се наоѓаат на такви растојанија од своите соседи да можат да зрачат како единки. Многу гасови се состојат од одделни атоми, на пример, такви се пареите од метали и инертни гасови – хелиум, неон, аргон, и др. Гасовите што се состојат од молекули на пример, водород, кислород, пареи од јод и др. при возбуждање можат да се распаѓаат на атоми (да дисоцираат). Таквите атоми на гасови даваат линиски спектар.

Светење на атоми во гасови и пареи може да се предизвика и при нивно загревање, на пример, во гасен пламеник. Притоа се добива линиски спектар на супстанции кои во обични услови се наоѓаат во цврста или течна состојба. Температурата во пламенот зависи од гасовите што горат.

На пример, за смеса водород-воздух температурата на пламенот е околу 2400 К. При определена температура внесената супстанција во пламенот испарува, нејзините атоми термички се возбуждаат и ја испуштаат апсорбираната енергија преку емисија на светлина – даваат линиски спектар.

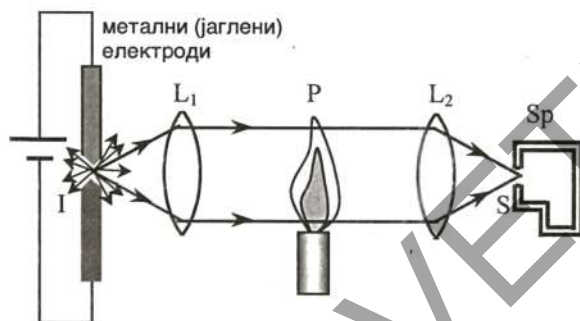


Сл. 2. Континуиран спектар (1) и линиски спектри на Cs, K, Na, H.

Експеримент. Со платинска игла се внесуваат кристали од готварска сол (NaCl) или фитил од азбест навкасен во раствор од готварска сол во пламеникот Р (возбуждање на атомите од натриум е можно и во пламенот на обична шпиртусна ламба), чија светлина паѓа на процепот S од спектроскопот Sp (сл. 3).

Пламенот се обојува со интензивна жолта боја и во спектроскопот се набљудуваат, во жолтиот дел на спектарот, две сосема блиски жолти линии (сл.2), со бранови должини $\lambda_1 = 589 \text{ nm}$ и $\lambda_2 = 589,6 \text{ nm}$, карактеристични за линискиот спектар на атомот на натриумот.

Тоа покажува дека во пламеникот молекулите на натриумхлоридот се распаднале на атоми на натриум и хлор. Притоа светењето на атомите од натриумот лесно се набљудува, но на атомите на хлорот не е лесно да се предизвика, и тоа обично е сосема слабо.



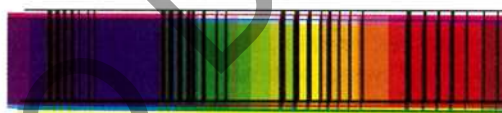
Сл. 3 Принципно шема за добивање на емисионен (апсорбиционен) спектар

За добивање на линиските спектри на металите, како и на нивните легури најчесто од нив се подготвуваат електроди во вид на прачка со конусна форма на едниот крај, меѓу нив се создава празнење преку електрична искра или лак (сл. 3). Притоа во меѓуелектродното растојание од неколку милиметри, температурата достигнува $3000-10000 \text{ K}$, дел од супстанцијата на површината од електродите испарува. Испарените атоми по термички пат се возбуждаат и светат. Спектарот на емитираната светлина се анализира со спектрален апарат.

Проучувањето на линиските (атомските) спектри од разни супстанции покажало дека *секој хемиски елемент има свој својствен одреден линиски спектар*. Линиските (дискон-

инуирани) спектри на хемиските елементи се разликуваат по бојата, интензитетот, положбата, т.е. по нивната бранова должина, бројот на одделните спектрални линии и нивната распределба.

Лентестите спектри се состојат од поодделни ленти, со различна боја, разделени со темни меѓурастојанија (сл. 4). Тие настануваат при зрачењето на јонизирани и неди-социрани молекули, што се наоѓаат на такви растојанија од своите соседи да можат да зрачат како единки. Лентестите спектри исто така се карактеристични за светењето на гасови или пари со мала густина.



Сл. 4 Емисионен молекуларен (лентест) спектар

При внимателно испитување се покажува дека лентите се составени од голем број на одделни линии. Лентестите спектри, исто така, се *дисконинуирани*, т.е. во нив спектралните ленти се разликуваат по положбата (т.е. по нивната бранова должина), по бројот и нивната распределба во спектарот. Тие спектри се карактеристични за супстанциите со молекуларна градба.

Лентестите спектри, исто така, може да се добијат ако во гасен пламеник се постави супстанцијата изградена од молекули. Притоа супстанцијата се распаѓа на молекули кои по термички пат се возбуждаат и емитираат лентест спектар. Од изложеното можеме да заклучиме дека линиските се атомски спектри, а лентестите се молекуларни спектри.

Денес за проучување на емисионите линиски и лентести спектри е развиена експериментална техника *емисиона спектроскопија*.

Континуиран спектар. Ако врз процепот од спектроскопот паѓа светлина од ламба со загреана жичка, свеќа итн., се добива континуиран спектар, во кој има континуиран премин на една боја во друга (сл. 2 означен со 1).

Главната одлика на овие спектри е тоа што во одреден бранов интервал се содржат зрачења со сите можни бранови должини. Континуираните спектри се добиваат како резултат

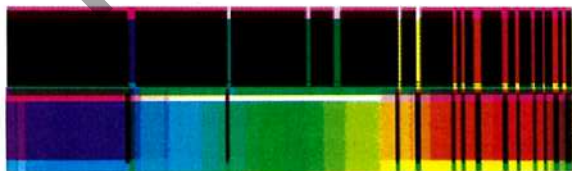
тат на светењето на тврдите и течните тела при нивното загревање. Во пламенот од свеќата светат растопените честици од маслото, во електричната светилка - загреаната метална жичка. Вакви спектри даваат и растопените метали, а, исто така, и гасовите и пареите што светат, ако имаат доволна густина, т.е. ако се наоѓаат под многу високи притисоци. Овие спектри не даваат никаква информација за структурата на честичите (атоми и молекули) што светат.

АПСОРПЦИОНИ СПЕКТРИ

По минувањето на бела светлина низ обоена супстанција (на пример, раствор од CuSO_4 во вода), нејзината боја се променува. Испитувањата на спектарот од таква "профилтрирана" светлина, низ таква супстанција, покажуваат дека во неа некои бои исчезнуваат, т.е. се појавуваат *темни линии* или *апсорпциони линии*. Тие одговараат на бранови должини или бранови подрачја што ги апсорбирала обоената супстанција. Таквиот спектар е наречен *апсорпционен спектар*.

Како емисионите така и апсорпционите спектри можат да бидат линиски (атомски) и лентести (молекуларни). Од голем интерес е проучувањето на апсорпционите спектри на едноатомните гасови, како и на пареите од металите, составени од поодделни атоми.

Кои светлински зраци ќе бидат апсорбирани од едноатомните гасови ако низ нив се пропушти бела светлина? Пропуштаме бела светлина од електричниот лак I (сл. 3), поставен пред пламеникот P во кој се наоѓа пареа од елементот што се проучува. Белата светлина преку собирните леќи L_1 и L_2 , по минувањето низ пареите, паѓа на процепот од спектралниот апарат Sp - спектроскопот. Притоа се добива континуиранiot спектар на белата светлина прорежан со темни линии, поставени точно таму каде се наоѓаат светлите линии во емисиониот спектар (сл. 5).



Сл.5. Емисионен и апсорпционен спектар на барium

Молекуларните апсорпциони спектри, при минувањето на светлината низ хемиските соединенија, се должат на енергетските промени, и тоа: при движењето на атомите околу нивната рамнотежна положба, при ротацијата на молекулот и при електронските премини во молекулот.

Според квантната механика еден молекул може да ротира или неговите атоми да вибрира со строго определена енергија. Тоа значи, молекулот може да се најде во дискретни (квантувани) ротациони, односно вибрациони енергетски нивоа со строго определена ротациона, односно вибрациона енергија. Исто така, како и кај атомот, електроните во молекулот се наоѓаат во дискретни стационарни состојби со строго определена енергија.

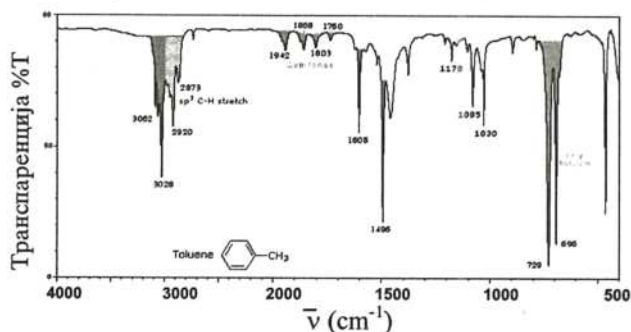
Имено, енергетските нивоа кај молекулите се разликуваат како по карактерот на движењата (ротација, вибрација, премини на електрони), така и по енергетската разлика ΔE меѓу соседните енергетски нивоа за даден вид. Тоа значи, апсорпција на зрачењето од молекулите во дадена супстанција може да настане само ако упадниот фотон има енергија hf еднаква на енергетската разлика ΔE меѓу две енергетски нивоа (на пример, меѓу две ротациони нивоа). Енергијата на електронските енергетски нивоа во атомите и молекулите е од ред на неколку eV (0,4 – 5 eV). На вибрационите енергетски нивоа на атомите во молекулот одговара помала вибрациона енергија (0,025 – 0,5 eV). Со ваква енергија се фотоните од блиската и средната инфрацрвена област, т.е. со бранов број ($\bar{\nu} = 1/\lambda \text{ cm}^{-1}$) од 200 до 40 000 cm^{-1} . Разликата во енергијата меѓу соседните ротациони нивоа е стоти дел од eV до 10^{-5} eV.

Според тоа, апсорпционите молекуларни спектри ќе се јавуваат во различни спектрални области од оптичкиот спектар.

Апсорпционите спектри што потекнуваат од вибрирањето (осцилирањето) на атомските јадра околу нивната рамнотежна положба се познати како *вибрациони молекуларни спектри*, додека, пак, апсорпционите спектри што потекнуваат од ротациите на молекулот околу оските што минуваат низ неговиот центар на маси - *ротациони спектри*.

Вибрационите и ротационите молекуларни спектри се јавуваат во инфрацрвената

област од оптичкиот спектар, поради што и се познати како **инфрацрвени спектри**. На сл. 7 е прикажан вибрационен (инфрацрвен) спектар на толуенот.



Сл. 7. Инфрацрвен спектар на толуен

Апсорпционите спектри што потекнуваат од електронските премини во молекулот се познати како **електронски спектри**. Тие се во ултравиолетовиот дел од оптичкиот спектар, и се наречени **ултравиолетови молекуларни спектри**. Исто така, и тие се карактеристични за секој молекул од дадено соединение.

Сите видови на атомски и молекуларни спектри се проучуваат во оптичката спектроскопија која се дели на **атомска и молекуларна**.



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

СПЕКТРАЛНА АНАЛИЗА

Спектрална анализа е физички метод за квалитативно и квантитативно проучување на хемискиот состав и хемиската структура на супстанциите преку користење на нивниот оптички спектар. Во зависност од тоа дали се определува елементарниот (атомски или изотопски) состав на супстанциите или нивниот молекуларен состав се дели, како и оптичката спектроскопија, на: **атомска и молекуларна спектрална анализа**.

Атомската спектрална анализа е физички метод за квалитативно и квантитативно изучување на хемискиот состав на супстанциите според атомските спектри на елементите.

Во зависност од задачите што се решаваат при спектралната анализа се разликува **квалитативна и квантитативна спектрална**

анализа. При квалитативната спектрална анализа се определува хемискиот состав, односно кои хемиски елементи влегуваат во составот на супстанцијата. Со квалитативната спектрална анализа се определува количинскиот износ на хемиските елементи во супстанцијата.

Спектралната анализа се користи во астрономијата за определување на хемискиот состав и температурата на Сонцето и ѕвездите, како и нивното движење во просторот.

Со спектралната анализа се откриени некои елементи од периодниот систем, што биле предвидени од Д. Менделеев. Германскиот физичар Г. Кирхоф и хемичарот Р. Бунзен се сметаат како основачи на спектралната анализа. Тие со помош спектроскопот, што сами го конструирале, преку спектрална анализа на светлината што ја емитувале пареите од смеса на соединенијата на алкални метали (литиум, натриум, калиум) освен линиите што припаѓаат на познатите елементи откриле и ред нови линии. Така тие го откриле рубидиумот и цезиумот. Понатаму биле откриени и други елементи како, на пример, индиум и талиум.

Во 1895 година во спектарот на Сонцето биле утврдени нови спектрални линии што биле препишани на нов гас, кој добил име хелиум (грчки *Хелиос* - Сонце). Нешто подоцна на Земјата бил откриен гас чиј спектар се покажало дека е идентичен со спектарот на хипотетичкиот хелиум. Така, претпоставката дека во составот на Сонцето постои нов елемент била потврдена.

Квантитативната спектрална анализа овозможува преку интензитетот на спектралните линии на хемискиот елемент да се определи неговиот процентен износ во испитуваниот примерок. Така, со овој метод во даден примерок (легура, минерал и др.) може да се открие присуство на даден елемент (примеса) дури и кога масата е од ред на големина 10^{-10} g. Со тоа спектралната анализа по својата осетливост ги надминува сите аналитички хемиски методи. Притоа интензитетот на светењето на спектралните линии се зголемува со зголемувањето на концентрацијата на елементот во пробата.

Молекуларната спектрална анализа ги користи, пред сè, молекуларните апсорпциони спектри, како и појавата луминисценција.

Молекуларната, како и атомската, спектрална анализа е квалитативна, квантитативна, како и структурна. При квалитативната спектрална анализа се определуваат молекулите што влегуваат во составот на хемиското соединение, а при квантитативната се определува нивниот количински износ. При структуралната анализа се определува видот и заедната поставеност на атомските групи што влегуваат во составот на молекули, т.е. на молекулите им се определува нивната хемиска структура.

Спектралната анализа денес се повеќе се користи во науката и техниката. Така многу високата осетливост го праи овој метод погоден за користење во металургијата и машиноградбата, хемијата и геологијата, медицината и биологијата и во многу други области од науката и техниката.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои се основните елементи на спектралните апарати?
2. Какви дисперزيونи елементи се користат во спектралните апарати?
3. Што се тоа монохроматори?
4. Опишете ги разликите во градбата на спектроскоп, спектрограф и спектрометар. Која е нивната намена?
5. Какви емисиони спектри има и кои се нивните карактеристики?
6. По што се разликуваат атомските спектри на различните хемиски елементи?
7. По што се разликуваат емисионите спектри на загреано парче железо, растопено железо и пари од железо?
8. Каков е спектарот на зрачење на електрична сијалица со загреана жичка и на рекламна цевка полна со неон?
9. Што претставува спектралната анализа и каква може да биде?



За да ги видите спектрите на сите елементи од Менделеевиот периоден систем отворете:

<http://onsager.bd.psu.edu/~jircitano/periodic4.html>

3.8. ЛУМИНИСЦЕНЦИЈА

Луминисценцијата е процес на свеење на телата при таква ниска температура кога во нивното температурно (топлинско) зрачење се уште не постојат зраци на видливата светлина. Значи, луминисценцијата е процес на ладна емисија на електромагнетно зрачење (од ултравиолетовата област, преку видливата светлина, се до инфрацрвеното зрачење).

Терминот ладна се употребува бидејќи енергијата на зрачењето при луминисценцијата не потекнува од претворување на топлинска енергија, туку од некој друг вид енергија. Од таа гледна точка луминисценцијата не подлежи на законите за топлинско зрачење, па може да се појави многу интензивно и на ниски температури.

Луминисцираат екраните на телевизорите и мониторите на компјутерите, луминисцентните ламби, светлинските диоди, вградени во сите современи електронски прибори, бројките на некои часовници, материјалите што гнијат, стомачињата на светилките. Според тоа, луминисцентните извори се како вештачки, така и природни.

Зад големиот број на различни видови на луминисценција се крие еден и ист механизам на светење на телата.

При споредувањето на топлинските и луминисцентните извори, кои зрачат во една иста спектрална област, се покажува дека температурата на луминисцентните е изненадувачки ниска. Имено, навистина екранот на телевизорот, што емитува бела светлина, практично не е загреан. Додека, пак, од гледна точка на претставите за топлинското зрачење неговата температура би требало да му биде повисока од 1000 °C. Тој факт укажува дека луминисценцијата не настанува за сметка на внатрешната енергија на телата, т.е. од хаотичното топлинско движење на честичите (атоми, молекули, јони) на телата коешто, повеќе или помалку, зависи од температурата на телата.

За разлика од топлинското зрачење, луминисценцијата е нерамнотежен термоди-

намички процес на испуштање на некохерентно зрачење и се должи на **внатрешната енергија на поодделна честичка**, било тоа да е атом, молекул или јон. Таа енергија не е поврзана со нивното топлинско движење. Секако постоењето на внатрешната енергија се објаснува со фактот дека споменатите честички имаат своја структура: атомите и јоните се изградени од јадра и електрони, а молекулите од атоми.

Внатрешната енергија за секој определен вид на честички се карактеризира со минимално можна големина, кога тие се наоѓаат во основната невозбудена состојба.

Ако честичката поседува внатрешна енергија поголема од минималната величина дека таа е возбудена. Честичката во возбудената состојба може да се најде во текот на определено време (во зависност од типот на супстанцијата од 10^{-8} s до неколку часови, денови, па и месеци). Возбудената честичка се стреми да го оддаде преку една или друга форма вишокот енергија. Процесот на оддавање на таа внатрешна енергија при којшто честичката се враќа во основната состојба е наречен **релаксација**. Кога енергијата се оддава како светлина величина дека честичката **свееи**, а добиената светлина се нарекува луминисцентна (lumen-светлина).

Според тоа, количеството на внатрешна енергија на честичката и емитираната светлина се определени од структурата на конкретните атоми, молекули и јони. Важно во овој случај е дека изворот на енергија за тој вид на зрачење е внатрешната енергија на одделните честички и луминисценцијата се должи на претворањето на дел од таа енергија во светлина. Оттука следува дека својствата на луминисцентното зрачење зависат силно од видот на честичката.

Очигледно, штом вишокот на количество на внатрешна енергија се потроши, т.е. честичката релаксира, емитирањето на луминисцентното зрачење престанува. Луминисцентното зрачење е со конечна должина на траење τ што значително го надминува периодот T на светлинските бранови ($\tau \gg T$ - за видливата светлина T е од редот 10^{-14} s).

Во зависност од начинот на настанувањето, т.е. од тоа од кој вид енергија се возбудува луминисценција разликуваме:

Радиолуминисценција - настанува под дејство на високоенергетски честички или радиоактивни зраци (овој вид на луминисценција е значаен при детекција на јонизирачки зрачења).

Катодолуминисценција - настанува како резултат на енергијата која ја предаваат електроните (катодните зраци) при судир со дадена материјална препрека. Врз основа на примената на оваа појава работат најголем број екрани кои се наоѓаат на краевите на различни катодни цевки (на пример, кај осцилоскопите, телевизорите, мониторите на компјутерите).

Електролуминисценција - настанува при директното претворање на електричната енергија во енергија на електромагнетно зрачење, и тоа обично при електрично празнење низ разредени гасови. Бојата на луминисценцијата зависи од природата на гасот. На овој принцип работат флуоресцентните сијалици.

Во светлинските диоди приложениот прав електричен напон доведува до рекомбинација на електрони и празнини, при што се појавува т.н. **рекомбинациона луминисценција**.

Хемолуминисценција - се појавува како резултат на претворањето на хемиската енергија во електромагнетно зрачење при определени хемиски реакции.

Биолуминисценција (хемолуминисценција на живите организми) - се јавува при протекување на хемиски реакции во живите организми. На пример, светењето на стомачето на светилката се должи на возбудувањето на специфична супстанција како резултат на протекување на сложени биохемиски реакции.

Триболуминисценција - настанува како резултат на претворањето на механичката енергија во електромагнетно зрачење при триење или деформација на тврдите тела.

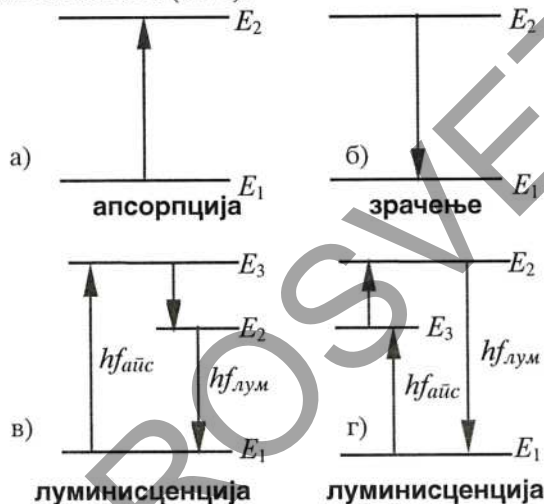
Луминисценција може да предизвикаат и рендгенските зраци. Тоа е **рендџенолуминисценција**.

Фотолуминисценција - се појавува како резултат на апсорпција на светлинско зрачење од дадена супстанција. Како по правило при фотолуминисценцијата на тврдите и течните супстанции се емитира зрачење со поголема бранова должина во однос на апсорбираното зрачење. Обично за возбудувања се користи

ултравиолетова светлина, и се појавува фотолуминисцентно зрачење во видливиот дел од спектарот. Со други зборови, кога дадена супстанција се осветлува со светлина со бранова должина λ_1 , таа емитува светлина со поголема бранова должина λ_2 . На таков начин дадената супстанција врши трансформација на светлината со помала бранова должина во светлина со поголема бранова должина и се нарекува **фотолуминисцентна супстанција**.

Ова својство на фотолуминисценцијата било утврдено 1852 година од англискиот учен А. Стокс, а денес познато како Стоксово правило: **спектарот на фотолуминисценцијата е поместен на страната од долгите бранови должини во споредба со спектарот на апсорбираниот зрачење**.

Кога возбудувањето на повисоко енергетско ниво и зрачењето на фотон при луминисценцијата се случува во рамките на еден атом, тоа е поврзано со три или повеќе нивоа во него (сл. 1).



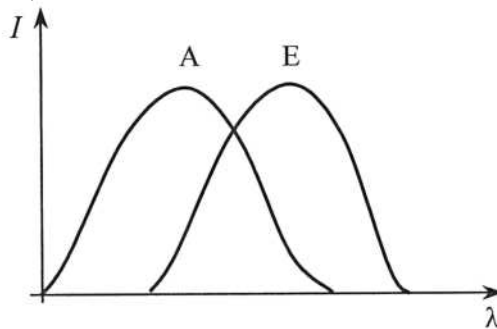
Сл. 1. Процеси на апсорпција и зрачење и луминисценција на светлина

Процесите на апсорпција и зрачење се остваруваат само помеѓу две нивоа E_1 и E_2 (сл. 1а и б). Кога луминисценцијата настанува обично со апсорпција на фотон со енергија $hf_{\text{айс}}$, тогаш се остварува премин од нивото E_1 на нивото E_3 (сл. 1в). При заемното дејство со соседните атоми или молекули, возбудениот

атом може без да зрачи да им предаде дел од својата енергија и да премине од нивото E_3 на нивото E_2 (енергијата $E_3 - E_2$ ја зголемува внатрешната енергија на средината). Очигледно, при преминот на возбудениот атом од енергетското ниво E_2 на E_1 фреквенцијата на луминисцентното зрачење $f_{\text{лум}}$, е помала од фреквенцијата на апсорбираниот фотон за возбудување $f_{\text{айс}}$.

Енергетската шема на луминисценцијата може да биде и посложена, кога во некои малку веројатни случаи средината оддава дел од својата енергија на атомот и тогаш $f_{\text{лум}} > f_{\text{айс}}$ (сл. 1г).

Енергетските нивоа E_1 , E_2 и E_3 се карактеристични за даден атом. Затоа набљудувањето на спектрални линии со фреквенции $f_{\text{лум}}$, е доказ за присуството на такви атоми во дадената средина, т.е. во примерокот којшто луминисцира. Исто така, и за процесите коишто протекуваат меѓу апсорпцијата и светењето при луминисценцијата.



Сл. 2. Релативен распоред на апсорпционите и фотолуминисцентните линии

За разлика од гасовите, тврдите и течните тела при фотолуминисценцијата емитуваат светлина која не се состои од одделни спектрални линии, туку од широки и тесни континуирани ленти.

Како илустрација на Стоксовото правило е даден графикот на сл. 2, на кој е прикажан интензитетот I на апсорбираната спектрална лента (А) и емитуваната (Е) во зависност од брановата должина (λ). Од сл. 2 се гледа дека лентата (Е) на фотолуминисцентната светлина

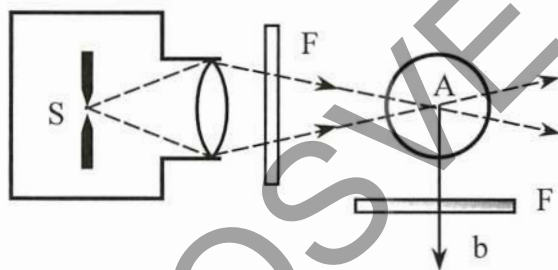
е поместена во однос на лентата (A) на апсорбираната светлина кон подолгите бранови должини.

Квантната теорија за зрачењето Стокс-овото правило при луминисценцијата го објаснува според сл. 1в. Ако изгубениот дел од енергијата на молекулот го означиме со A , тогаш останатата енергија $hf_{\text{лум}}$ што ја емитува молекулот при враќање во основната невозбудена состојба што ја емитува во вид на луминисцентна светлина е

$$hf_{\text{лум}} = hf_{\text{аис}} - A. \quad (1)$$

Бидејќи $A \geq 0$, $f_{\text{лум}} \leq f_{\text{аис}}$, т.е. фреквенцијата на емитуваната светлина е еднаква или помала од фреквенцијата на возбудувачката (екситацисконата) светлина. Според тоа, брановата должина на фотолуминисцентната светлина е еднаква или поголема од екситацисконата светлина.

Експеримент:



Сл. 3. Метод на набљудување на фотолуминисценцијата

Начинот на набљудувањето на фотолуминисценцијата на тврдите и течните тела е прикажан на сл. 3. Светлината од изворот S (на пример, електричен лак) се насочува на испитуваната супстанција A пројавената светлина се набљудува во правецот Ab. Светлинските филтри F и F' служат за издвојување на одредени спектрални делови од екситацисконата и луминисцентната светлина.

Времето за релаксирање на честичите (атоми, молекули и јони) по престанокот на осветлувањето на супстанцијата, т.е. по прекинот

на доток на енергија, може да се менува во многу широки граници (од 10^{-12} s до цели денови) во зависност од видот на честичите и условите во кои се наоѓаат. Како резултат на тоа фотолуминисценцијата ќе има и различно **конечно време на гасење**.

Според конечното време на гасење фотолуминисценцијата се дели на **флуоросценција и фосфоресценција**. Ако конечното време на гасење е сосема мало, така што практично фотолуминисценцијата на супстанцијата исчезнува едновременно со пресекнувањето на нејзиното осветлување, тогаш таа е наречена **флуоросценција**. Ако конечното време на гасење е значително поголемо (прае минути, часови или дури и денови), таа е наречена **фосфоресценција**.

Фотолуминисценцијата се набљудува во многу течности и гасови, а фосфоресценцијата во тврдите тела. На пример, ако со ултравиолетова светлина се осветли раствор од флуоресцин, ќе свети со карактеристична зелена боја; раствор од родамин ќе свети со портокалова боја, а раствор од хинин - со сина боја. Овие раствори светат и под дејство на интензивна бела светлина, но ако ги гледаме според сл. 3.

Кристалните супстанции, кои силно и долго фосфоресцираат, се наречени **кристалофори**. Тука спаѓаат различни соли, коишто содржат многу мал број на примесни атоми од определени супстанции, наречени **активатори**. Ваквите состави, во кои фосфоресценцијата е условена од присуството на активатори, често се нарекуваат **люминофори**. Така како најдобри луминофори се: цинксулфид активиран со бакар силно фосфоресцира со зеленкаста светлина. Сулфиди на земноалкалните метали активирани со бакар или олово.

Како квалитетни луминофори кај екраните на катодните цевки на осцилоскопот, телевизорот, и мониторот на компјутерот се користат кристалофори, што содржат смеса од цинксулфид и калиумсулфид активирани со сребро. Кај ТВ - приемниците во боја на екранот подредено се поставени зрна од три кристални луминофори, коишто светат со црвена, зелена и сина боја. Друг пример за примена на луминисценцијата се луминисцентните ламби за бела светлина. При тие

ламби протекува тлесчко празнење низ разре-ден гас, притоа гасот емитува невидливо ултра-виолетово зрачење. Луминофорот, со кој е покриен сидот однатре на ламбата, го апсорби-ра ултравиолетовото зрачење, фосфоресцира и притоа емитува видлива свеќина. Хемискиот состав се избира така што светлината на лам-бата да биде блиска по својот состав на днев-ната светлина. Луминисцентните ламби имаат поголем коефициент на полезно дејство од сијалиците со вжарена жичка.

Спектарот на фотолуминисценцијата не зависи од апсорбираното зрачење, но зависи само од структурата на супстанцијата. Значи, тој е карактеристичен за секоја супстанција. Тоа е искористено при луминисцентната спек-трална анализа за определување на составот и чистотата на супстанциите, како и за откри-вање на присуството на дадено соединение во сложена смеса. Осетливост на овој метод при анализата е многу голема. Луминисценцијата од даден луминофор во раствор може да се набљудува при концентрации од 10^{-7} - 10^{-9} g/ml. Поради тоа фотолуминисцентните спектри се користат како во прехранбената индустрија, минерологијата, криминалистиката, медици-ната, така и во научните лаборатории.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. На кое зрачење (топлинско или луминисцентно) одговара светењето на: а) жар; б) рекламни цевки; в) ѕвездите; г) стрелките на часовник; д) некои медузи?
2. По што се разликуваат процесите на фосфоресценција и флуоресценција?
3. Дајте примери за различни видови луминисценција во зависност од начинот на возбуждување на структурните честици од супстанцијата.
4. Процесот на луминисценција се користи кај апаратите за откривање на лажни банкноти. Проучете го нивниот принцип на дејство.

3.9. МОЛЕКУЛИ

Под молекул ќе подразбираме група од два или повеќе атоми кои се држат јако заедно така што делуваат како целина. Кога атомите формираат таков спој велиме дека меѓу нив е формирана хемиска врска. Постојат два главни типа на *јаки хемиски врски*: **ковалентна** и **јонска врска**.

До формирање на молекул од независни атоми доаѓа поради тоа што енергијата на системот од независни атоми е поголема од енергијата на врзан систем од атоми кога тие ќе се приближат на одредено растојание.

Својствата на атомите меѓусебно да се спаруваат зависи од структурата на електрони-те во надворешните (**валентни**) електронски слоеви.

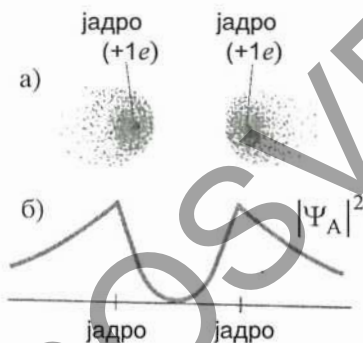
Силите кои ги држат атомите во моле-кул се резултат на заемното дејство на пери-ферните електрони. Општо земено, при интер-акцијата меѓу два атома може да дојде до соз-давање на заеднички електронски пар (**кова-лентна врска**) или до целосен премин на елек-трони од едниот атом на друг и создавање на јони. Добиењите јони, како резултат на елек-тричното привлекување, може да градат **јонска врска**. Атомите на металите, како и нивните легури, меѓусебно се поврзуваат со т.н. **метална врска**.

Ковалентна хемиска врска

Ковалентната врска, често се среќава кај молекули изградени од истородни атоми. За да се разбере како ковалентните врски се форми-раат, ќе земеме најпрост пример, врска што ги држи двата водородни атоми заедно да го формираат молекулот на водородот (H_2). Механизмот во основа е ист и за други кова-лентни врски. Како двата H атоми се добли-жуваат еден кон друг, електронските облаци почнуваат да се прекриваат, и електроните од секој атом може да се движат орбитално околу двете јадра. Ако двата електрони се во основ-ната состојба ($n=1$; $l=0$; $m_l=0$) во нивните атоми, тогаш има две можности: нивните

спиновите да се паралелни (двата негоре или надолу) или нивните спинови да се во спротивни насоки ($s=1/2$ за едниот, $s=-1/2$ за другиот атом).

Прво да ја земеме состојбата во која спиновите се со исти насоки. Во овој случај двата електрони се наоѓаат во најниската енергетска s – состојба, карактеризирана со квантните броеви: $n=1$; $l=0$; $m_l=0$; $s=1/2$. Според тоа, тие имаат исти квантни броеви и припаѓаат на еден ист атом (атомот на водородот). Ваквата состојба во којашто се наоѓаат електроните не е дозволена во квантната механика. Имено, според Паулиевият принцип, два електрона кои се најдуваат во една иста квантна состојба, иако имаат исти квантни броеви, тие мора да се разликуваат на некој начин – да припаѓаат на различни атоми. За ваква квантна состојба на електрони, кога двата водородни атоми ќе се приближат, електроните ќе се оддалечат еден од друг, како што е прикажано со распределбата на густината на веројатноста на електронот (електронскиот облак) сл. 1.



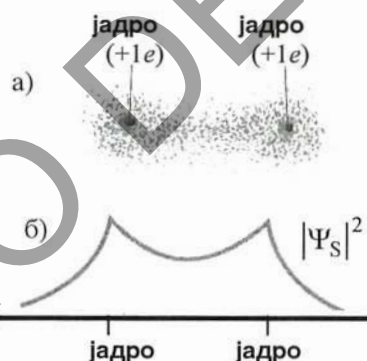
Сл. 1. Распределба на густината на веројатноста на електронот (електронскиот облак) за два водородни атоми со паралелни спинови:

а) електронски облак; б) проекција на $|\Psi_A|^2$ долж линијата меѓу центриите на двата атоми.

Според сл. 1, помеѓу јадрата не се формира електронски облак, т.е. електроните не престојуваат помеѓу јадрата. Од друга страна, кога спиновите на двата атоми се во спротивни насоки, двата електрони се наоѓаат во различна квантна состојба. Оттука тие може да се

најдат заедно во просторот меѓу атомите. Во овој случај, веројатноста за нивната распределба изгледа како на сл. 2.

Како што се гледа (сл. 2) електроните потрошуваат многу повеќе од нивното време за престој меѓу позитивно наелектризираните јадра. Така што јадрата конечно се привлекувани од негативно наелектризираниот облак на електроните меѓу нив. Ваквото привлекување, кое ги држи двата атоми заедно, создава ковалентна врска.



Сл.2. Распределба на густината на веројатноста на електронот (електронскиот облак) за два водородни атоми со антипаралелни спинови:

а) електронски облак; б) проекција на $|\Psi_S|^2$ долж линијата меѓу центриите на двата атоми

Зошто ковалентната врска се формира во овој случај (кога одделните електрони се со спротивни спинови) објаснување може се добие и преку енергијата на формиранiot систем (молекулот H_2). Согласно Хајзенберговиот принцип на неопределеност, во овој случај, секој електрон во молекулот зафаќа поголем простор, т.е. помалку е локализиран отколку кога е во просторот на одделен H атом. Оттука следува дека со зголемувањето на просторот на електронот, се зголемува и неопределеноста на координатата Δx , а се намалува неопределеност на импулсот Δp . Соодветно со

тоа се намалува и енергијата: $E = \frac{mv^2}{2} = \frac{\Delta p^2}{2m}$.

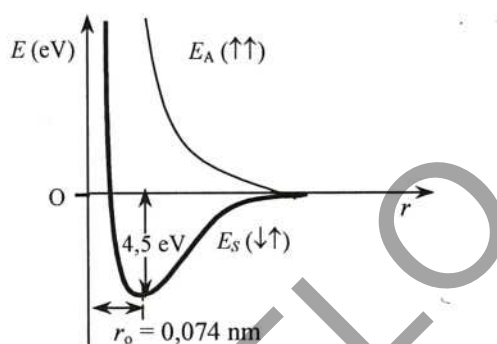
Така, со помал импулс секој електрон има помала енергија кога двата атоми се заедно

(формираат H_2 молекул) отколку кога тие се раздвоени. Тоа значи, молекулот има помала енергија во однос на енергијата на раздвоени атоми, и е постабилен. Потребно е да се внесе енергија за да се разруши H_2 молекулот во одделни H атоми. Енергијата потребна за да се раскине врската е наречена **енергија на врската** или **енергија на сврзување** или **енергија на дисоцијација**.

Во поглавјето 3.5, веќе, укажавме дека s -; p -; d -; f -; g - состојбите на електроните во атомот во хемијата се наречени **атомски орбитали**. Аналогно и во молекулите, електроните се наоѓаат во определени состојби – **молекуларни орбитали** опишани со соодветни бранови функции. Молекуларните орбитали ако се **сврзувачки** се формира молекул, а **антисврзувачки** не се формира молекул.

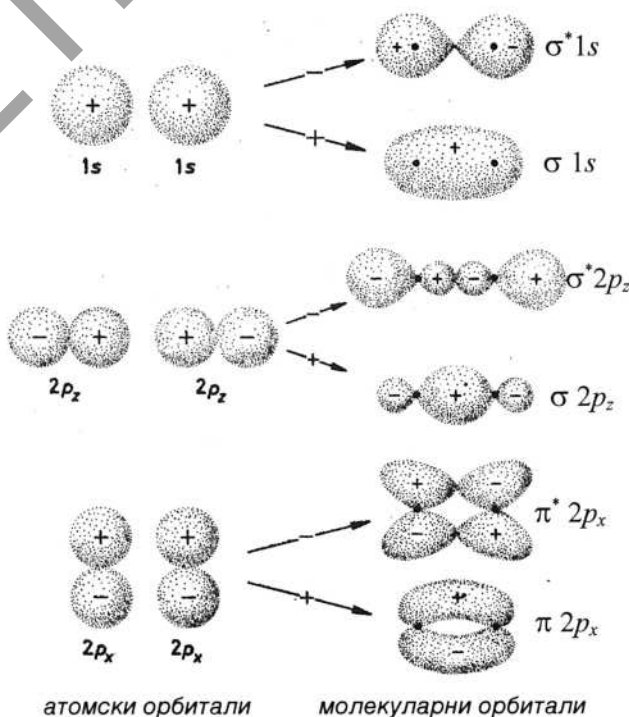
Брановата функција што го опишува формирањето на водородниот молекул (сл.1 и сл. 2) се добива со линеарна комбинација (со вадење и собирање) на брановите функции Ψ_1 и Ψ_2 , со кои е опишана една иста состојба на електроните во атомите на водородот ($1s$ – состојба). На овој начин се добиваат две бранови функции: антисиметрична $\Psi_A = \Psi_1 - \Psi_2$ и симетрична $\Psi_S = \Psi_1 + \Psi_2$ со кои се прикажани состојбите при формирање на молекул H_2 . Според сл. 1 и сл.2, соодветната густина на веројатноста за просторниот распоред на електроните (електронскиот облак) $|\Psi_A|^2$ и $|\Psi_S|^2$ е симетрична во однос на атомските јадра, но постои голема разлика: $|\Psi_S|^2$ има конечна вредност, а $|\Psi_A|^2$ е нула меѓу подрачјето на двете атомски јадра. Така, Ψ_S води до формирање на стабилен квантомеханички систем (H_2) додека Ψ_A не. Ние велíme дека Ψ_S е **сврзувачка** и Ψ_A е **антисврзувачка** бранова функција. Ако се прикаже енергијата за H_2 молекулот во зависност од растојанието меѓу атомските јадра се добиваат две криви E_S и E_A (сл. 3).

Молекулот е стабилен кога двата електрони се опишани со Ψ_S , така што тие тежат да се најдат во подрачјето меѓу јадрата со еднаква веројатност.



Сл. 3. Потенцијална енергија во зависност од растојанието меѓу јадрата кај H_2 .

Енергијата на стабилен систем (молекулот на H_2) е 4,5 eV на растојание меѓу протоните од 0,074 nm како што е прикажано со кривата E_S на сл.3. Од друга страна системот е нестабилен (не се формира молекул H_2) поради одбивање на јадрата, како што е прикажано со кривата E_A .



Сл. 4. Формирање на молекуларни орбитали од атомски орбитали

Така доаѓаме до следното правило за ковалентната врска кое има општо значење: *ковалентни врски меѓу атоми се создаваат со формирање на електронски парови со спротивни спинови на електроните, кои се наоѓаат во подрачјето меѓу атомските јадра во сврзувачки молекуларни орбитали.*

Во H_2 молекулот, електронскиот пар (двата електрони со спротивни спинови) се во сврзувачката молекуларна орбитала σ_{1s} (сл.4).

Согласно на квантната механика молекуларните орбитали и хемиските врски кои настануваат со линеарна комбинација (собирање и вадење) на атомски s -, p - d - орбитали се означуваат и тоа сврзувачките како σ ; π ; δ – молекуларни орбитали, а антисврзувачките како σ^* ; π^* ; δ^* – молекуларни орбитали (сл.4).

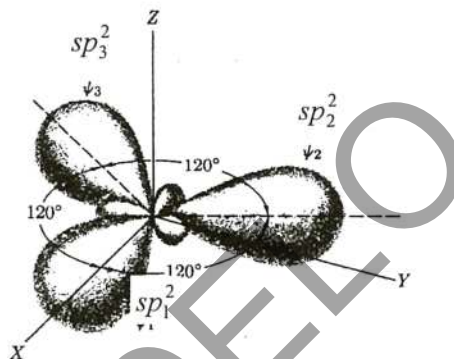
До ознаката на секоја молекуларна орбитала е допишана и ознаката на атомските орбитали (ns ; np , каде n -главен квантен број) од кои се добиени.

Стабилни молекули многу посложени од H_2 како што се H_2O , CO_2 , NH_3 , CH_4 , C_6H_6 и други посложени молекули (полимери, фулени), исто така, се формирани со ковалентни врски.

Квантната механика не само што објаснува како атомите се сврзуваат да формираат стабилни молекули, туку исто така, ја објаснува и геометријата на молекулите (линеарна, тригонално планарна, пирамидална, тетраедарска), за да го разбереме тоа прво треба да видиме што се тоа хибридни атомски орбитали.

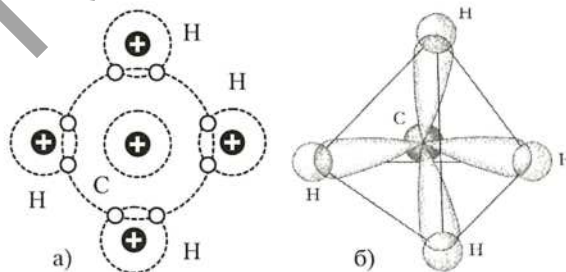
Хибридни атомски орбитали се добиваат со прекривање или мешање (хибридизација) на една s – атомска со p - атомски орбитали. Тоа мешање се состои од собирање кога една s - орбитала ќе се прекрие со позитивниот дел на една која било орбитала, а вадење кога една s – орбитала ќе се прекрие со негативниот дел на една p – орбитала.

Ако s - и p - атомските состојби (орбитали) имаат приближно иста енергија, тогаш со линеарна комбинација на s ; p_x ; p_y ; p_z – орбиталите се добиваат хибридни атомски орбитали. Така една s - и една p - орбитала се комбинираат како $s + p$ и $s - p$ и даваат две еквивалентни **sp -хибридни орбитали**, насочени во спротивни страни под агол од 180° .



Сл. 5. Три sp^2 - хибридни атомски орбитали

Со комбинирање на една s – и две p – орбитали се добиваат три **sp^2 хибридни орбитали**, насочени меѓу себе под агол од 120° , па ковалентна врска тие формираат во една рамнина (сл. 5).



Сл. 6. а) Четири ковалентни врски во CH_4 молекулот; б) хемиско прикажување на аголната зависност на четириот ковалентни врски

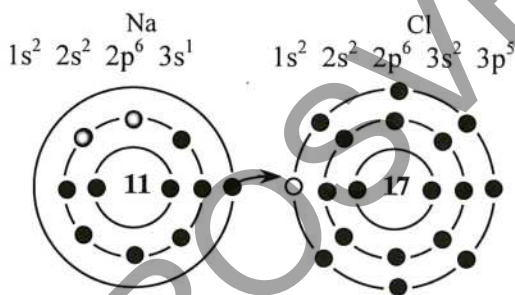
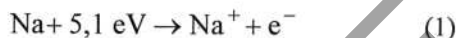
Молекулот на метанот (CH_4) е типичен органски молекул со тетраедарска структура (сл. 6). Таквата геометрија е овозможена со формирањето на четири sp^3 – хибридни орбитали околу $^{12}_6C$ атомот со електронска конфигурација во возбудена состојба $1s^2 2s^1 2p_x^1 2p_y^1 2p_z^1$, т.е. со линеарна комбинација на една $2s$ со три $2p$ ($2p_x, 2p_y, 2p_z$) атомски орбитали. Атомот на јаглеродот е во средината на тетраедарот. Ковалентната врска кај молекулот на метанот е формирана со преклопување на една sp^3 хибридна орбитала

со една $1s$ – орбитала на водородниот атом. Притоа во секоја ковалентна врска се поставени по два електрона со спротивни спинови. Аголот меѓу ковалентните врски е $109,5^\circ$.

Распределбата на електронскиот облак во ковалентните врски меѓу C атомот и четирите H атоми е рамномерна и CH_4 молекулот нема диполен момент.

Јонска хемиска врска

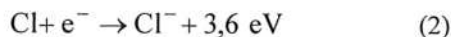
Јонските врски се такви во чија основа е кулоново привлекување меѓу спротивно наелектризираните јони. Основен пример на молекул со јонска врска е натриум хлорид (NaCl). Натриумот, кој има електронска конфигурација $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$ лесно се јонизира, и со оддавање на неговиот $3s$ електрон формира Na^+ јон (сл. 7). Енергијата потребна да се јонизира атомот за да се формира Na^+ е $5,1 \text{ eV}$. Атомот на натриумот со примање на енергија го губи $3s$ електронот и преминува во *електропозитивен јон* Na^+ :



Сл. 7.

Атомот на хлорот со електронска конфигурација $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^5$, има еден електрон помалку во p – состојбите за да постигне стабилна структура како атомот на аргон. Бидејќи пополнетите електронски конфигурации на слоевите се енергетски многу поволни (стабилни) отколку непополнетите електронски конфигурации. Електронот, пак, што го губи атомот на натриумот, го прима атомот на хлорот (сл. 8) со ослободување на енергија при

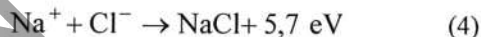
што преминува во *електронегативен јон* Cl^- :



Енергијата што ја ослободува атомот кога прима електрон е наречена *електронски афинитет*. За хлорот електронскиот афинитет е $3,6 \text{ eV}$. Според тоа, енергија еднаква на $5,1 \text{ eV} - 3,6 \text{ eV} = 1,5 \text{ eV}$ мора да биде вложена во неутралните Na и Cl атоми, за да се оствари преминот на електронот од натриумот на хлорот, т.е. тие да бидат променети во Na^+ и Cl^- јони на бесконечно растојание еден од друг.



Процесот не е веројатен доколку Na^+ и Cl^- како резултат на електростатичките Кулонови сили меѓусебно не се привлечат. Кога се формира молекул NaCl , се ослободува енергија од $5,7 \text{ eV}$:



Разликата од вложената енергија при создавањето на јоните и ослободената енергија при формирање на молекулот: $5,7 \text{ eV} - 1,5 \text{ eV} = 4,2 \text{ eV}$ претставува *енергија на јонска врска* на молекулот NaCl . Исто толку енергија е потребна за молекулот на NaCl да се раздвои на неутрални атоми на натриум и хлор, т.е. *енергија на дисоцијација*.

Врската во јонските кристали (NaCl , MgO , LiF и други) се остварува на ист начин како и кај молекулите со јонска врска.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои се јаки хемиски врски?
2. Како гласи правилото за формирање на ковалентна врска?
3. Која бранова функција е сврзувачка, а која антисврзувачка?
4. Каква е природата на ковалентната и јонската врска?
5. Како се добиваат и означуваат сврзувачките и антисврзувачките молекуларни орбитали и хемиски врски?

3.10. МОЛЕКУЛАРНИ СИЛИ

1. Ван дер Валсова врска

Ако материјата е изградена од атоми и молекули, тогаш постоењето на кондензираната фаза, како цврста супстанција и течност, ни кажува дека мора да постојат некои сили кои делуваат меѓу молекулите. Тие сили мора да бидат привлечни кои делуваат меѓу молекулите кога тие се раздвоени. Меѓу нив се силите познати како *Ван дер Валсови сили*. Тие сили имаат електростатичка природа.

Врската што се формира како резултат на Ван дер Валсовите сили – привлечни сили меѓу кои било два атома што не формираат јонска или ковалентна врска, како и меѓу кои било две молекули е наречена *Ван дер Валсова врска*.

За да се прекине врската меѓу два атома или јони мора да биде внесена енергија. Оваа енергија е наречена *енергија на врска* или *енергија на сврзување*. За ковалентната и јонската врска енергијата на врската е обично од 2 до 5 eV. Овие врски, кои ги држат атомите заедно да формираат молекули, често се наречени *јаки врски*, за да се разликуваат од т.н. "слаби врски".

Терминот слаба врска, како што е употребен, се однесува на дополнителна врска меѓу молекулите (на пример, Ван дер Валсова врска) што одговара на просто електростатичко привлекување – какво што е меѓу поларни молекули (но не во поларниот молекул, во кој е јака врската).

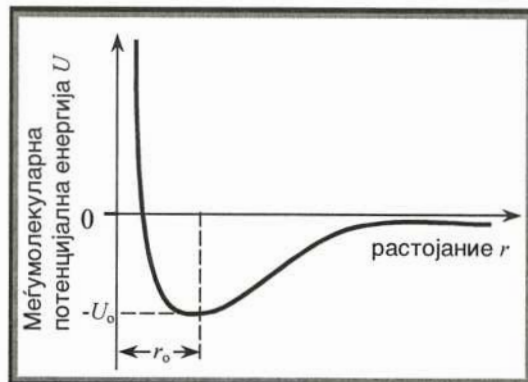
Така енергијата на Ван дер Валсовата врска, како и на другите врски кои имаат електростатичка природа, меѓу молекулите е обично во подрачје од 0,04 до 0,3 eV – оттука и името "слаба врска". Според тоа Ван дер Валсовите врски се многу слаби во однос на ковалентната и јонската врска.

Во 1873 година Ван дер Валс утврдил дека постојат привлечни сили меѓу сите врсти молекули без разлика на тоа дали имаат постојан диполен момент (HCl , H_2O , NH_3) или немаат поради симетричната распределба на

полнежите (H_2 , O_2 , CO_2 , CH_4), односно поради сферно – симетричниот електронски облак кај атомите од инертните гасови.

Како што е познато при доволно ниски температури гасовите се кондензираат во течности, а уште при пониски температури поминуваат во цврсти супстанции, т.е. формираат кристални решетки.

Гасовите се доближуваат до состојбата на *идеален гас* при високи температури и ниски притисоци, притоа не постојат привлечни сили меѓу молекулите и важат законите за идеален гас. Имено, при низок притисок молекулите на гасот се доволно оддалечени еден од друг и можат при зголемена температура со кинетичката енергија – термичкото движење наполно да ги совладаат меѓусебните привлечни сили. Со зголемување на притисокот, молекулите сè повеќе се доближуваат еден до друг. Со *сnižување*, пак, на температурата се намалува нивното термичко движење, меѓумолекуларните сили доаѓаат до израз, и тоа толку повеќе колку притисокот е поголем, а температурата пониска. Ван дер Валсовите сили значително се поголеми од силите на термичкото движење на атомите (молекулите), тоа овозможува при ладење гасот да се кондензира во течност, а потоа во цврсто тело (со исклучок на хелиум кој не се стврдува на атмосферски притисок).



Сл. 1. Крива за меѓумолекуларната потенцијална енергија; r_0 - рамнотежно растојание меѓу центриите на молекулите.

Тоа што густината на течностите и цврстите тела е наполно определена величина укажува на постоење одбивни сили меѓу молекулите. Меѓутоа, ако меѓу молекулите не постои одби-

вање при нивното зближување ќе се слеат во една целина, и густината би станала неограничено голема.

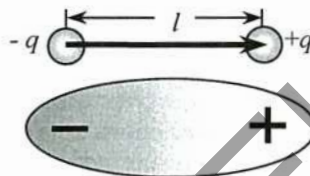
Во течностите и цврстите тела, изградени од молекули, Ван дер Валсовите сили ги зближуваат честичките до растојание, на кое силите на привлекување и одбивање се еднакви по големина и се насочени една наспроти друга. Кривата за потенцијалната енергија (сл. 1) при заемното дејство на два молекула има иста форма како за водородниот молекул, но се разликува по значително помалата длабочина U_0 – помала енергија на Ван дер Валсовата врска и поголемо рамнотежно растојание r_0 меѓу молекулите. На таков начин, разликата меѓу хемиските врски (ковалентни и јонски врски) и Ван дер Валсовата врска е само квантитативна. Бидејќи природата на силите во двата случаја е една и иста – електростатичка, и молекулите и атомите се составени од јадра и електрони.

Растојанието меѓу молекулите во течностите и цврстите тела е $\sim 0,3 - 0,5 \text{ nm}$, а енергијата на заемното дејство по молекул (Ван дер Валсовата врска) е $\sim 0,05 \text{ eV}$ којашто е 100 пати помала од енергијата на ковалентната и јонската врска.

Според тоа, Ван дер Валсовите сили се појавуваат на големи растојанија, така што потенцијалната енергија U , на заемнодејство меѓу честичките, многу полесно се намалува со растојанието r и е пропорционална на r^{-n} , каде што n е од 1 до 6. Со други зборови Ван дер Валсовите сили доведуваат до одбивање на молекулите на кратко растојание и привлекување на долги растојанија меѓу нив. Меѓу Ван дер Валсовите сили – сили на слаби заемни дејствија, кои формираат слаби врски се:

1. Ориентациони сили. Тоа се електростатички сили со кои заемнодејствуваат диполни моменти на поларни молекули. Кај поларните молекули нема симетричен распоред на полнежите, туку на едната страна превладува негативен, а на другата страна позитивен полнеж, и молекулот претставува **електричен дипол** со **диполен момент** $\vec{p} = q\vec{l}$ (сл. 2). Диполниот момент $\vec{p}$ е вектор со големина еднаква на производот од едниот на еднаквите полнежи q на диполот и нивното

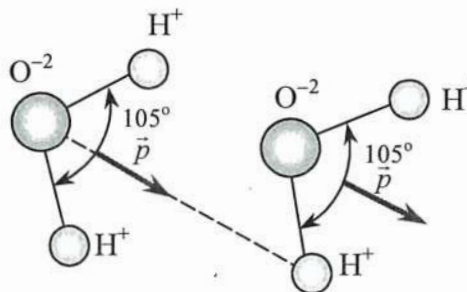
меѓусебно растојание $\vec{l}$. Правецот се поклопува со правецот што ги поврзува полнежите, а насоката е од негативниот кон позитивниот полнеж.



Сл. 2. Електричен дипол на поларен молекул

Диполните молекули, аналогно на јоните, имаат надворешно електрично поле, кое е слабо, но сепак доволно за да електричното поле на диполот од еден молекул заемнодејствува со електричното поле на диполот од друг молекул и го ориентира на начин за да се привлекуваат двата молекула. Ваквото заемнодејство на поларните молекули е наречено **ориентационо заемнодејство**. Така настанува т.н. **дипол-дипол врска**.

SI единица за диполниот момент $\vec{p}$ е 1 Cm . Еден од најважните диполни молекули е молекулот на водата, со постојан диполен момент $6,2 \cdot 10^{-30} \text{ Cm}$. На слика 3 е прикажано како два поларни молекула (диполи) со еднакви диполни моменти (на пример, два молекула на вода) се врзуваат.



Сл.3. Заемнодејство на молекули на вода.

Супстанциите изградени од поларни молекули потешко се топат за разлика од оние изградени со неполарните молекули.

2. Индуцирани сили. Поларен молекул, со постојан диполен момент, предизвикува

(индуцира) во друг неполарен молекул, т.н. *индуциран диполен момент*. Индуцираниот диполен момент е во истиот правец како и постојаниот диполен момент на поларниот молекул. Индуцираното заемнодејство на двата диполни моменти доведува до привлекување меѓу поларниот и неполарниот молекул. Зависноста на индуцираниот диполен момент $\vec{P}_{\text{инд}}$ од јачината на електричното поле $\vec{E}$ на поларниот молекул, е:

$$\vec{P}_{\text{инд}} = \alpha \vec{E}, \quad (1)$$

каде што α - *поларизибилност* на молекулој, којашто ја карактеризира способноста на електронскиот облак во неполарниот молекул да се поместува под дејство на електрично поле.

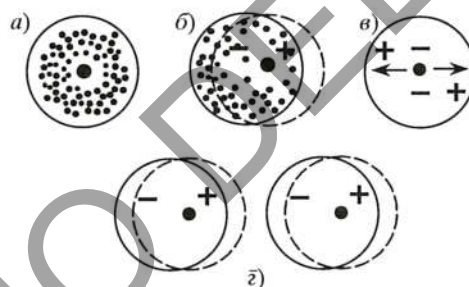
Потенцијалната енергија на индуцираното заемнодејство, како и на ориентационото, се намалува со растојанието меѓу молекулите. Индуцираното заемнодејство, за разлика од ориентационото, не зависи од температурата.

3. Дисперзионите сили се привлечни сили кои се јавуваат меѓу два неполарни молекули. Објаснувањето за меѓусебното привлекување и кај неполарните молекули кои немаат постојан диполен момент (симетрични молекули и моноатомски молекули на инертните гасови) е квантномеханичко.

Имено, според квантната механика, електроните во атомот и молекулот се во постојано орбитално движење, така што густината на електронскиот облак во атомските и молекулските орбитали е само некоја средна густина (сл. 4а). Затоа во секој момент може да дојде до несиметричен распоред на електричните полнежи во атомот или молекулот. Така, неполарниот молекул или атом може моментално сам по себе да се поларизира и во даден момент да има променлив диполен момент (сл.4б). Покрај тоа, според квантната механика, секоја честица, дури и во најниската енергетска состојба (теориски при температура на апсолутната нула) има минимална енергија на вибрирање околу рамнотежната положба со определена фреквенција. Така и позитивно наелектризираното јадро вибрира како и негативниот електронски облак. И повторно доаѓа до моментална несиметрична распределба на позитивниот и негативниот полнеж и настану-

ва краткотраен променлив дипол (сл. 4в).

Во одреден момент, иако краткотрајно, променливиот диполен момент има конечна вредност и може да индуцира слични краткотрајни диполи во други атоми и молекули (сл.4г). Така кога два неполарни молекула ќе дојдат близу еден до друг, брзите промени во променливите диполни моменти предизвикуваат електростатичко привлекување меѓу неполарните молекули (атоми).



Сл. 4 а) Средна густина на електронскиот облак. Појавување на крајкотрајни променливи диполи: б) орбитално движење на електроните; в) осцилирање на атомското јадро; г) електростатички привлечни сили;

Дисперзионите сили, како електростатички сили, кои создаваат Ван дер Валсови врски се многу слаби. Тие доаѓаат до израз само кога неполарните молекули (атоми) се многу близу еден до друг. Но, постои определена оддалеченост меѓу молекулите каде дисперзионите сили се максимални. Со приближување на молекулите, спротивно на дисперзионите сили се јавуваат одбивни сили меѓу надворешните електронски слоеви.

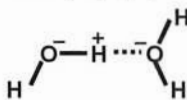
Постојат молекуларни цврсти тела изградени од неполарни молекули (CH_4 , Cl_2 , I_2 , CO_2 , C_6H_6). Инертните гасови чии надворешни слоеви се пополнети со електрони, преминуваат во цврста состојба како молекуларни цврсти тела. Молекулите во овој тип на цврсти тела ги задржуваат нивните индивидуалности. Тие се поврзани со дисперзионии сили кои создаваат слаби врски меѓу нив, како кога постојат во гасна или течна фаза.

Како последица на тоа, молекуларните цврсти тела не се спроводници на топлина и на електрична струја. Исто така, тие се многу компресибилни и подлежат на големи деформации. Ако молекуларните цврсти тела имаат

многу ниска точка на топење (за раскинување на слабите врски е потребна енергија од 0,01 до 0,1 eV/ molekul), тогаш добиената од нив течна фаза има аналогно ниска точка на вриење. Така многу физичко-хемиски својства на молекуларните материјали, како што се: точка на топење, вискозност, пластичност, површински напон се определени со Ван дер Валсовите привлечни сили.

2. Водородна врска

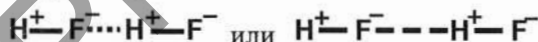
Водородната врска, претставува специјален вид на интеракција што се случува кога водороден атом е ковалентно врзан со електронегативен атом како што е атомот на кислород, азот или флуор (сл. 5).



Сл. 5. Водородна врска.

Водородната врска се формира поради тоа што протонот (водородното јадро) го делат два атома (два кислородни, два флуорни, или два азотни атоми). Ваквото делење на еден ист протон е слично како делењето на еден ист електрон при формирањето на ковалентната врска. Оваа врска е овозможена поради малата маса на протонот и непостоење на други (внатрешни) електрони (освен електронот во електронската обвивка на водородниот атом).

Водородната врска по својата енергија на врзување се наоѓа меѓу ковалентната и Ван дер Валсовата врска. Типични вредности за енергијата на водородната врска се меѓу 0,02 и 0,4 eV. Водородната врска, за разлика од ковалентната врска, се прикажува со точки или испрекинати црти. На пример, молекулот H_2F_2 може да се прикаже:

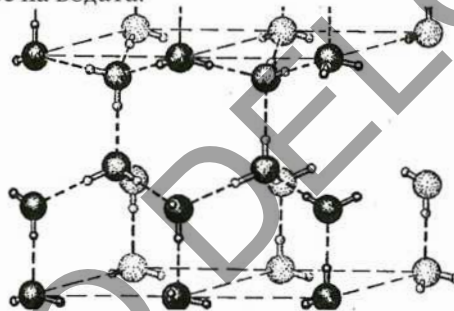


Поради водородната врска молекулите HF се асоцираат, т.е. се врзуваат во поголеми молекуларни врски: H_2F_2 , H_3F_3 , H_4F_4 , H_5F_5 и H_6F_6 .

Поради водородната врска молекулите на обичната вода (H_2O), амонјакот (NH_3) и др., исто така, се асоцирни, т.е. постојат врските: $\text{O} - \text{H} \cdots \text{O}$; $\text{N} - \text{H} \cdots \text{N}$.

Водородната врска постои и во цврсти тела, меѓу нив е и мразот (сл. 6), каде што

молекулите на водата имаат тетраедарска конфигурација и се држат заедно со водородни врски меѓу кислородните атоми (големи црни топчиња) и водородните атоми (мали празни крукчиња). Водородните врски се прикажани со испрекинатата линија. Со ваквата структура мразот има поголем волумен (помала густина) во однос на водата.



Сл. 6. Тетраедарска конфигурација на молекулите од вода во кристалната решетка на мраз.

Супстанциите од молекули поврзани со водородни врски имаат висока релативна диелектрична константа (поголема од 40).

И ако водородната врска е слаба, таа е уште еден механизам за поврзување и држење на група молекули во заедница. Тој механизам е одговорен за меѓусебно поврзување на големите биолошки молекули и полимери во нивната природна (неденатурирана) форма. На пример, за двојно-спиралната структура на ДНК (види физика за III година) е одговорна водородната врска помеѓу азотните бази (аденин, цитозин, тимин и гванин) кои ги држат двете вериги во двојно спиралната структура на молекулот.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои сè сили формираат Ван дер Валсови врски?
2. Каква е природата на Ван дер Валсовите сили?
3. Каква е природата на водородната врска?
3. Кои молекули имаат диполен момент и како настанува дипол-дипол врската?

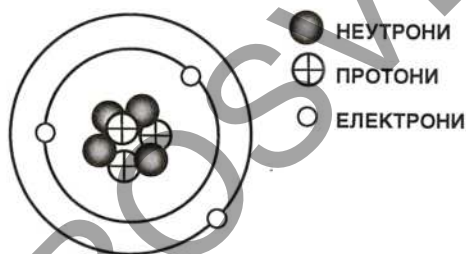
АТОМСКО ЈАДРО

3.11. МОДЕЛИ ЗА АТОМСКОТО ЈАДРО

Најпрвин се сметало дека јадрото е неедлива целина и нема своја структура. Но, подоцна е откриено дека се состои од одделни честици, и тоа; *протони* (p) кои се позитивно наелектризирани и *неутрони* (n) кои се неутрални. И двата вида честици имаат маса блиска по вредност, но и некои други слични својства. Затоа, често протоните и неутроните со заедничко име се викаат **нуклеони**, а јадро со одреден број нуклеони се вика **нуклид**.

Откривањето на неутроните ги разреши сите дилеми во врска со составот на атомското јадро. Веднаш беше јасно дека покрај протоните, во јадрото ги има и неутроните, со што беше решен проблемот со масата на јадрото. Околу јадрото по одредени патеки кружат електроните.

Протонско-неутронскиот модел за состав на атомското јадро (Д. Иваненко и В. Хајзенберг, 1932 год.) денеска е општо прифатен (сл. 1).



Сл. 1.

Не постои целосна и егзактна теорија за атомското јадро. Затоа се прибегнува кон создавање на нуклеарни (јадрени) модели кои имаат за цел да овозможат начин како да се предвидат некои нуклеарни особини. Во идеален случај, тоа би било преку познавањето на законот за силите меѓу нуклеоните. Но, нуклеарните сили имаат сложен карактер и тие не можат да се претстават со едноставна равенка како Кулоновите или гравитационите сили.

Ова претставува сериозен проблем при изучувањето на структурата на атомските јадра. Бидејќи јадрото е составено од A нуклеони, треба да се реши проблемот на заемнодејство на многу тела, а тој досега не е решен ни во класичната физика, а да не зборуваме за систем од квантни честици.

Затоа, создадени се повеќе модели што опишуваат некои негови својства, а другите ги занемаруваат. Досега создадените модели се засноваат, главно, на две претпоставки:

- **модел на силна интеракција**: според оваа претпоставка, јадрото се смета како ансамбл од цврсто спрегнати честици кои поради силната интеракција ја губат својата индивидуалност и поради тоа произведуваат колективни ефекти. Претставници на моделот на силна интеракција се моделот на течна капка, α -честичен модел и др.

- **модел на независни честици**: според оваа претпоставка, нуклеоните во јадрото се движат во некое сопствено средно поле и не заемнодејствуваат помеѓу себе. Во моделите на независни честици се вбројуваат: *моделот на Фермиевиот гас*, *нуклеарниот слоест модел*, *едночестичен модел* и др.

Овде малку ќе се задржиме на двата спротивставени модели: **моделот на капка и слоестиот модел**.

1. Модел на капка

Според И. Френкел и Н. Бор, по аналогија со капка течност, се смета дека и нуклеоните во јадрото се распоредени како молекулите во течна капка. За воспоставување на таква аналогија се поаѓа од претпоставката за континуираност на нуклеарната материја чија густина во јадрото е $\rho_j \approx 10^{14} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ и не зависи од големината на јадрото. Тоа што густината на јадрената материја е постојана зборува за нестисливоста на јадрото. Ова е слично и за течнота бидејќи густината не зависи од димензиите на капката.

Како втор аргумент на овој модел е фактот дека специфичната енергија на сврзување на нуклеоните во јадрото е скоро константна, што личи на енергијата на сврзување на молекулот која е константна и не зависи од волуменот на капката.

Нуклеарните сили се со краток досег, привлечни се, имаат својство на сатурација. Такви се и молекуларните сили. Средниот слободен пат на нуклеоните во јадрото е мал, слично како и средниот пат на молекулите во капката. Но, постојат и битни разлики: молекуларните сили се од електромагнетско потекло, а нуклеарните се од посебен вид. Движењето на молекулите во течноста се објаснува со законите на класичната физика, а движењето на нуклеоните има квантен карактер.

Со овој модел успешно се објаснува енергијата на врзување на јадрото, својствата на изобарите, фисијата (цепење) на тешките јадра итн. Заради нуклеарното заемнодејство, на површината на ваквата "нуклеарна капка" ќе делуваат површински сили што се милион пати појаки од површинските сили кај течностите.

Ако масата на еден нуклеон биде m , тогаш приближно може да се напише дека масата на јадрото M е:

$$M = Am \quad (1)$$

каде што A е масениот број. Радиусот на јадрата што содржат повеќе нуклеони е поголем и може да се смета дека тој ја задоволува релацијата:

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

каде што R_0 е експериментално одредена вредност $1,2 < R_0 < 1,5$. Треба да се има предвид дека горната закономерност за радиусот не е секогаш исполнета (деформирани јадра и др.).

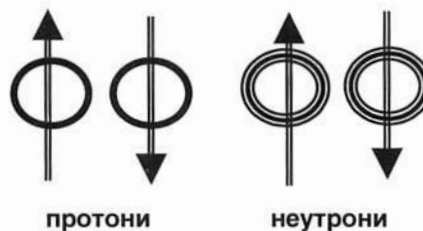
2. Слоест модел

Некои од експериментално добиените факти за јадрото укажувале на фактот дека иако просторот што им стои на располагање на нуклеоните е толку мал, сепак тие се однесуваат како независни честици што се движат во некое централно симетрично поле. Слично на атомските енергетски нивоа, такви нивоа има и јадрото, па се чини како нуклеоните да се наоѓаат распоредени на тие нивоа според Паулиевият принцип.

Нивоата се групирани во слоеви, а во секој слој можат да се најдат одреден број

нуклеони. Јадрата што имаат таков број нуклеони што формираат пополнети слоеви даваат стабилна структура. И навистина, покажано е експериментално дека особено се стабилни јадрата каде бројот на нуклеоните е 2, 8, 20, 28, 50, 82 и 126 (само за неутрони). Овие се наречени магични броеви, а јадрата со таков број нуклеони се викаат **магични јадра**. Такви се, на пример: јадрата на никел $^{60}_{28}\text{Ni}$ цинк $^{90}_{40}\text{Zn}$, калај $^{98}_{50}\text{Sn}$, бариум $^{138}_{56}\text{Ba}$, и други. Ако бројот на протоните и бројот на неутроните во некое јадро е магичен, тоа се вика **двојно магично јадро**. Такви се: ^4_2He , $^{16}_8\text{O}$, $^{40}_{20}\text{Ca}$ и други. Овие јадра се особено стабилни и распространети во природата.

Нуклеоните во составот на јадрото се **фермиони** (честици што имаат **спин** еднаков на $1/2$). Спините на честичите во јадрото се спаруваат на одреден начин и го даваат **импулсниот момент** (спин) на јадрото, чија вредност зависи од сумирањето (спарувањето) на спините на нуклеоните. Јадрата со неспарен протон или неутрон тежат да преминат во јадра со спарени нуклеони што во природата ги има многу повеќе.



Сл. 2.

Честиците со спин имаат свои **магнетски моменти** и затоа некои јадра имаат магнетски момент. Јадрата со парен број протони и парен број неутрони **немаат магнетски момент** заради спротивно ориентираните спинови на спарените нуклеони. Но, магнетските моменти на нуклеоните, а со тоа и на јадрата се многу мали во споредба со магнетскиот момент на електронот. Затоа нивното дејство многу малку се манифестира.

Спарувањето на спиновите на двата протони и двата неутрони во јадрото на ${}^4_2\text{He}$ шематски е прикажано на сл.2.

Слично како и кај атомот, и енергијата на јадрото е квантирана и се вршат премини од едно енергетско ниво на друго. Значи, и јадрото има *дискретен спектар* на можни енергетски состојби. Најниското ниво е *основната состојба*. Повисоките енергетски состојби на јадрата имаат сложен карактер и не е едноставно да се пресметаат како кај атомот. Тие се препокриваат и за повисоки енергии скоро се слеаат во континуиран енергетски спектар.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Врз кои претпоставки се засноваат моделите што го претставуваат атомското јадро?
2. Колкава е густината на јадрената материја?
3. Како се пресметува радиусот на јадро со масен број A ?
4. Кои јадра се викаат магични? Зошто?
5. Кои честиици се во групата на фермиони?
6. Како се спаруваат спиновите во јадро-то? Покажи го тоа кај хелиумовото јадро.



Нилс Бор (1885-1962). Еден од најголемите физичари, основач на современата физика, Работел во Кембриџ, Копенхаген, Манчестер. Основал *Институтот за теориска физика* - центар на физиката каде што престојувале и работеле многу светски физичари.

ЕЛЕМЕНТАРНИ ЧЕСТИЦИ

3.12. ФУНДАМЕНТАЛНИ ЧЕСТИЦИ

Уште старогрчките мислители го поставиле прашањето дали материјата е неограничено делива или не. Тие дошле до ставот дека ако дел од материјата мисловно се уситува на сè помали и помали делови, на крај се доаѓа до најмалите, неделиви честички *атомите*. Грчките атомисти верувале дека сета материја е изградена од атоми. Се разбира, тој поим не е истиот каков што денес го сфаќаме, но принципот е ист: и денес се смета дека материјата се состои од најситни структурни единици, *елементарни честиици*.

Наполно точна дефиниција на овој поим не е едноставно да се искаже затоа што неговата смисла се менувала во текот на развојот на физиката. Една од поточните би била:

Честиицата се смета дека е елементарна ако не може да се опише како систем составен од други единици. Значи, елементарната честичка нема делови (не е изградена од нешто друго, поелементарно).

Впрочем, да се потсетиме дека во 5 век пр. н.е. Емпедокле за прв пат поставил теорија дека целата Вселена се состои од *четири елементи: земја, вода, воздух и оган*. Неговите идеи биле популарни скоро две илјади години. Подоцна се сметаше дека атомот е елементарна честичка: *Демокриот* му го даде името *атом* што значи неделив). Кога се најде дека атомот е сложен систем се сметаше дека субатомските честиици (помали од атомот) се елементарни.



Демокрит (460-370 п.н.е). Старогрчки филозоф, претставник на материјалистичкото учење. Покрај идејата за атомот, негова идеја била дека Вселената се состои од безброј светови што се создаваат, развиваат и исчезнуваат.

Пред седумдесетина години се чинеше дека структурата на материјата е решена. Беа откриени четири основни честиици: *електрон, протон, неутрон и фотон*, па физичарите се надеваа дека тие се доволни за комплетна теорија за составот на материјата. Нив ги нарекоа *елементарни честиици* затоа што се сметаше дека тие се основните градбени единици на материјата што ги поседуваат типичните својства: *не се менуваат, немаат структура и не се распаѓаат*.

Развојот на физиката доведе до нови, продлабочени сознанија за елементарните честиици. Нивната листа се прошири, а најголемиот број од нив се нестабилни, се распаѓаат, значи имаат одредено време на живот, се трансформираат едни во други итн. Дури се утврди дека постојат и поелементарни делови, но честииците од нив не се состојат во вистинска смисла на зборот, туку тие се создаваат, се раѓаат во *моментални нивније претворби*.

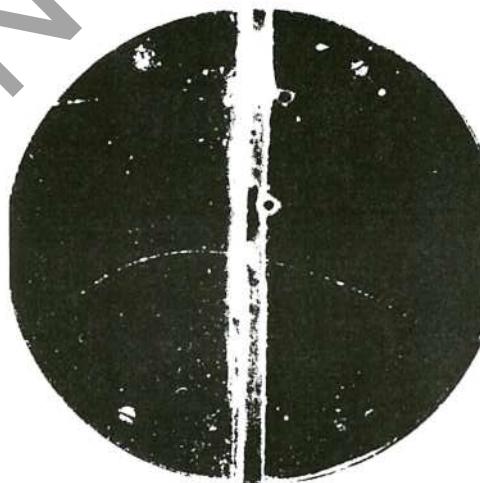
Дека нашите претстави од макросветот не може да ги примениме и во светот на елементарните честиици ќе послужи ова расудување. Имено, што значи кога ќе се рече дека некоја честиица има средно време на живот од 10^{-8} s а сепак ја сметаме за елементарна? Ова време, иако изгледа многу кусо, на "нуклеарната временска скала" е неверојатно долго затоа што процесите во микросветот се одигруваат многу брзо. Споменатата честиица ако се смета дека има големина 10^{-15} m и брзина приближно еднаква на брзината на светлината, за време на својот "живот" изминува пат што е 10^{15} пати поголем од нејзината димензија. Таков однос на изминатиот пат и сопствената димензија не може да се замисли за ниједен макроскопски предмет!

Во последниве години се покажа дека физиката на елементарните честиици е тесно поврзана со современата астрофизика и космологија. На прв поглед тоа е чудно, најмалите делови на материјата да се поврзат толку тесно со бескрајната Вселена, но треба да се има на ум фактот што првите секунди од "животот" на Вселената по Големата експлозија (**Big Bang**) се исполнети со процесите што се случувале меѓу елементарните честиици. Затоа, физиката на елементарните честиици објаснува многу појави, набљудувања и процеси што

настануваат во Вселената. Впрочем, и за бескрајно малите честиици и за бескрајно големата Вселена важат исти *физички закони*.

Откривање на елементарните честиици

Веќе ги наброивме *електронот, протонот, неутронот и фотонот*, а проучувањето на космичките зраци ја прошири листата на елементарните честиици. Веќе во 1932 год. К. Андерсон го откри *позитронот*. На неговата историска фотографија (сл. 1) направена е снимка на трагата на позитронот во Вилсонова комора при што тој влегува во комората (трагата од десната страна), се успорува во слој од олово (бела лента во центарот) и потоа влегува во простор каде делува магнетско поле, па според закривеноста на трагот (левата половина на сликата) се утврдува дека честиицата има позитивен полнеж.

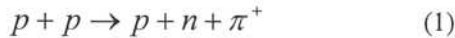


Сл. 1.

Во 1937 год. се откриени μ -мезоните, во 1947 π -мезоните, нешто подоцна K-мезоните и хипероните. Најмногу елементарни честиици се откриени при многубројните реакции и претворби на јадрата. Во 1956 год. откриен е *антипротонот*, а потоа *антипозитронот*.

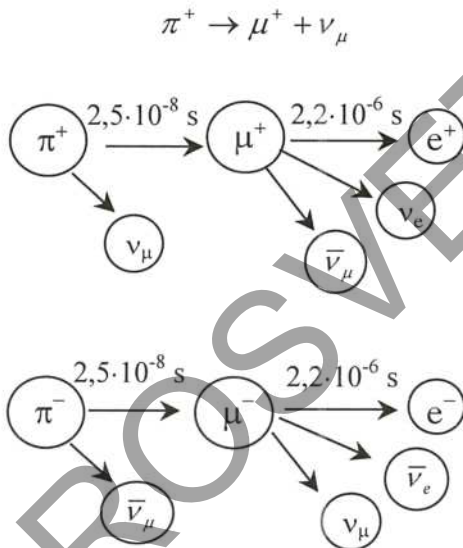
Во принцип, при судири на честиици со доволно голема енергија, можат да се добијат голем број на нови честиици и античестиици. Така на пример, π -мезонот може да се добие во

реакцијата:



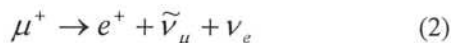
при што потребната енергија за "создавање" на π^+ -мезонот е околу 140 MeV, а енергијата на протоните што се судираат треба да биде поголема од 290 MeV за да се обезбеди сите честиици по судирот да имаат доволно кинетичка енергија. Така, за прв пат со бомбардирање на јадра со помош на забрзани честиици добиени се нови, што дотогаш не постоеле.

Принципиелно, новодобиената честиица се создава за сметка на енергијата што ја носат влезните честиици, според релацијата $E = mc^2$ што е обратно од веќе проучениот процес на добивање на енергија за сметка на дефектот на масата. Добиеениот π^+ -мезон има многу кусо на живот: $\sim 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ s}$ при што се распаѓа на мион и мионско неутрино:



Сл. 2.

Од своја страна, пак, мионот е нестабилен, живее само кратко време и со распаѓот дава позитрон, мионско антинейтрино и електронско неутрино:



Горните распади се прикажани шематски на

сл. 2 за да станат појасни процесите што настануваат.

Бидејќи и овде се спомна *неујтрино*, ќе кажеме неколку податоци и за него. Неутриното (и антинейтрино) се јавува како резултат на слабите заемнодејства. Колку што досега се знае, неутриното нема некоја посебна улога во процесите и заемнодејствата затоа што неверојатно малку заемодејствува со материјата, многу слабо влегува во реакции. Но, со него се поврзани други загатки и проблеми кои сè уште не се разјаснети.

Во прв ред тоа е прашањето дали неутрината имаат или немаат маса во мирување. Најновите истражувања покажуваат дека неутриното, сепак, има некој износ на масата во мирување. Според резултатите добиени во последниве години, се смета дека масата на мирување на електронските неутрина е од ред величина (10-20) eV, а, пак, за мионските неутрина би била поголема. Ако ова се покаже точно, сликата за Вселената битно ќе се измени. Тогаш ќе биде решен проблемот со *"масата што недостига во Вселената"*. Имено, Вселената се однесува како да има повеќе маса (небески тела, маглини итн.) отколку што може да се регистрира со сегашните набљудувања.

Ако неутрината имаат маса (макар и мала), заради нивниот огромен број, тие би сочинувале најголем дел од масата на Вселената. Имено, само од Сонцето се емитира флуks на неутрина чија големина е таква што на Земјата паѓаат $\sim 10^{11}$ неутрина/cm²/s. Пресметано е дека густината на неутрината во Вселената е 50 неутрина/m³ и при каква било маса на мирување различна од нула, нашата Вселена би била "неутринска", што би повлекло измена на теориите за ширење на Вселената и др.

Мионите спаѓаат во групата на лептони (лесни честиици). Во таа група е електронот, негативниот мион, негативниот τ (тау) лептон заедно со припадните античестиици.

K- мезоните (каони) се тешки мезони и тие се нестабилни. Нив ги има: позитивен K^+ , негативен K^- и неутрален K^0 чија маса е околу 970 MeV. Нивниот распаѓ е многу "таинствен"- се распаѓаат на повеќе начини при што се добиваат низа честиици: пиони, миони, елек-

трони, позитрони итн. Стана јасно тврдењето дека посложените честиици не се состојат од послементарни, туку овие се создаваат во моментот на претворба.

Досега споменатите елементарни честиици имаат маса на мирување помала од масата на **нуклеоните**. Но, постои една класа на честиици наречени **хиперони** со поголема маса. Тоа се хипероните Λ (ламбда), Σ (сигма), Ξ (кси), Ω (омега). Сите тие се нестабилни, имаат време на живот $\sim 10^{-10}$ s и се распаѓаат. Нуклеоните и хипероните како масивни честиици со заедничко име се викаат **бариони**. Хипероните обично се распаѓаат на нуклеони и пиони што покажува дека тие, всушност, се "возбудени нуклеони". Тоа е така очигледно, аналогно на атом кој вишокот енергија го емитура во вид на фотон. "Возбудениот нуклеон", пак, вишокот енергија го емитура во вид на квант на нуклеарното поле - π -мезонот. Долните распади се недвосмислена потврда на тоа. Имено, неутралниот ламбда хиперон се распаѓа на протон и неутрален пион,

$$\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^- \quad (3)$$

но може да се распадне и на неутрон и неутрален пион:

$$\Lambda^0 \rightarrow n + \pi^0 \quad (4)$$

Овие распади не се напишани за ученикот да ги научи напамет, туку да ја сфати поврзаноста на процесите што се случуваат во микросветот и законите за зачувување. Имено, само ако се има предвид законот за зачувување на електричниот полнеж, лесно се проверува дека распаѓот на позитивниот Σ^+ хиперон може да биде:

$$\Sigma^+ \rightarrow p + \pi^0 \quad (5)$$

или $\Sigma^+ \rightarrow n + \pi^+$ (6)

Најпрвин изгледа комплицирано, но потоа се гледа длабоката логика и смисла на сите овие процеси во микросветот; законите мора да важат. Да замислиме дека може да се случи хипероните да го заземат местото на нуклеоните во јадрата. Тоа би биле хиперјадра. И навистина, постоењето хиперјадра беше докажано во 1953 год.

Класификација на честииците

Засега, и покрај научните напори, не е создадена општа теорија со која би се објасниле сите својства на елементарните честиици и загатките што тие ги поставуваат.

Според некои својства, направен е обид тие да се класифицираат во некој општ систем, слично како периодниот систем на елементите. Користа од ваква систематизација, покрај другото, е да се претскаже постоењето и особините на некои честиици што, евентуално, не се досега откриени.

Според карактеристичните својства на честииците, тие се поделени на три групи (фотонот не влегува во овие групи и засебно се претставува):

1. Група на лептони (најлесни честиици).

Во оваа група припаѓаат електронот e^- , електронското неутрино ν_e , мионот μ^- , мионското неутрино ν_μ , τ^- -лептонот и неутрино ν_τ . Се разбира, во групата на лептоните припаѓаат и припадните античестиици на овие шест честиици.

Лептоните не учествуваат во силните заемнодејства, туку за нив се карактеристични т.н. слаби заемнодејства.

2. Група на мезони ("средни честиици" со маси меѓу лептонските и потешките барионски).

Во групата на мезоните, како што видовме порано, спаѓаат пионите (π^+ , π^- и π^0), η мезонот, каоните K^+ , K^- и K^0 .

При нивниот распаѓ се добиваат π -мезони и лептони или само лептони. Постојат и други мезони, но овде нема да ги споменеме. Тие имаат некои *необични*, "чудни" својства.

3. Група на бариони (тешки честиици, честиици со најголема маса).

За членовите на оваа група што ја сочинуваат нуклеоните и хипероните доволно е кажано во текстот.

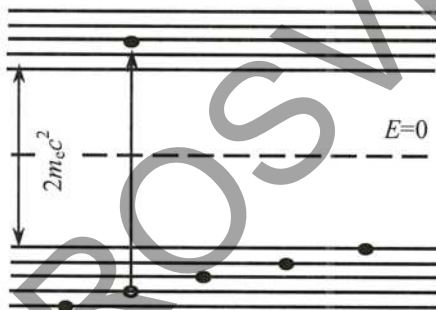
Сите бариони освен протонот се нестабилни и притоа покрај другите честиици се образуваат и бариони што е последица на законот за запазување на барионскиот полнеж. Тие учествуваат во силните заемнодејства.

3.13. АНТИЧЕСТИЦИ. АНТИМАТЕРИЈА

На англискиот физичар П. Дирак во 1928 год. му појде од рака да најде релативистичка квантно-механичка равенка за електронот. Таа имаше далекусежни последици. Од неа произлезе дека вкупната енергија E на електронот со импулс p е еднаква на:

$$E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m_e^2 c^4} \quad (1)$$

може да има и негативна вредност (решение на квадратниот корен). Се разбира, енергијата на реална честица не може да биде негативна. Но, Дирак негативното решение го протолкува поинаку - како таа енергија да припаѓа на честицка со маса еднаква на електронот, но со спротивен (позитивен) полнеж. Меѓу најголемата негативна енергија $-m_e c^2$ и најмалата позитивна енергија $+m_e c^2$ постои интервал на енергии од $2m_e c^2$.



Сл. 1.

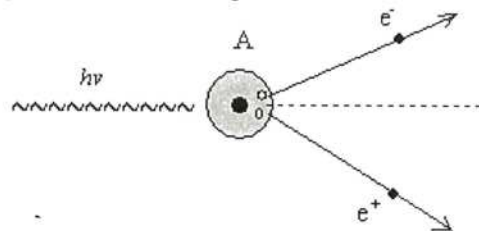
Според Дирак, честиците не можат да поседуваат енергија што е во тој интервал, туку сопствените вредности на енергијата можат да бидат од $+m_e c^2$ до $+\infty$ и од $-m_e c^2$ до $-\infty$. Дирак претпостави дека ако на еден електрон што се наоѓа на пополнетите нивоа со негативна енергија (на цртежот долу)

му се даде енергија $E \geq 2m_e c^2$, тој ќе премине на нивоата со позитивна енергија (на цртежот горе) и ќе се однесува како обична честица со позитивна маса и негативен полнеж (сл.1). Празнината што останала на неговото место кај нивоата со негативни енергии треба да се однесува како електрон што би имал позитивен полнеж. Така Дирак го претскажа "позитивниот електрон" што го доби името **позитрон**. Значи, електронот има своја античестица.

Подлабоките размисли доведоа до заклучок дека нема никаква причина зошто електронот би бил "повластен", туку и другите честици би требало да имаат своја античестица. Таа би имала иста маса како и честицата, иста вредност на електричниот полнеж, но со спротивен знак.

Голем придонес во разјаснувањето на проблемите поврзани со постоењето на античестиците даде американскиот физичар Р. Фејнман. Стана јасно дека нивното постоење е директна последица на релативистичката врска меѓу енергијата и импулсот на честицата што, од друга страна, ги одразува својствата на просторно-временскиот континуум.

Во 1955 год. со бомбардирање на јадра со протони со голема енергија добиен е *анти-ипројон* $\bar{p}$. Античестиците се обележуваат со истиот симбол како и честиците и знак над симболот. Во вакуум, ако не претрпува судири, тоа е стабилна честица, но при средба со протон веднаш настанува *процес* на *аниhilација*: честиците ги снува, наместо нив се добива енергија според Ајнштајновата равенка за врска меѓу масата и енергијата. Но, за разлика од аниhilацијата на електрон-позитрон каде најчесто се добиваат γ -кванти, овде можат да се добијат најразлични честици (што е поверојатно) што зависи од *енергијата* на *ипројонот* и *антиипројонот*.



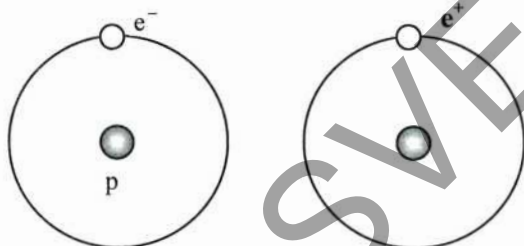
Сл. 2.

Но, може и обратен процес, создавање на пар честица-античестица (на пример пар електрон-позитрон (e^-e^+)) за сметка на енергијата на гама фотоните $h\nu$. Овој процес е возможен само во поле на јадрото A (сл. 2).

Така, двата процеси што се одвиваат меѓу честичките; нивната анихилација и создавањето пар честица-античестица се многу важни за иследување на нивната структура и заемнодејствата меѓу нив.

Добивањето на честици со големи енергии се прави со помош на *акцелератори на честиици*. Најмоќни уреди има во ЦЕРН (Женева), Станфорд и Батавија (УСА), Хамбург (Германија) итн.

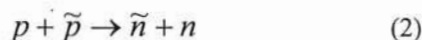
Како што протонот и електронот формираат стабилен систем - атом на водород, принципиелно може да сметаме дека и антипротонот $\bar{p}$ и позитронот e^+ можат да формираат **антиатом на водород** (сл. 3). Средбата со атом на обичниот водород би довела до анихилација.



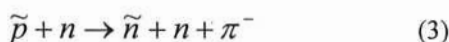
атом на водород атом на антиводород

Сл. 3.

Сега доаѓаме до прашањето: а што е со неутронот, дали тој има античестица. Со експериментите вршени во 1956 год. добиен е антинеутрон при судири на протони и антипротони:



или:



Честицата π^- го однесува електричниот полнеж на антипротонот со знак минус.

Експериментите со кои се добија античестичките беа блескава потврда на Дираковата теорија.

Од четирите први честици остана фотонот. *Фотонот* нема своја античестица, може да се рече дека тој е еднаков на својата античестица. Постојат и други честици што немаат свои античестици. Тоа се неутралниот пион π^0 и η (ета) мезонот.

Интересот за античестичките не се исцрпува само со откривање на нивното постоење, туку разоткрива и друг вид проблеми освен научните (филозофски, сознаниј итн.). Имено, кога веќе постојат античестици, може да постои *антиматерија, антисвет* каде што атомите, молекулите, хемиските елементи би биле изградени од соодветните античестици. Во 1969 год. е синтезирано јадро на антихелиум-3 што се состои од два антипротони и еден антинеутрон. Но, во космичкото пространство не е констатирано постоењето на антиматерија. Значи, не може да се смета дека паралелно со овој свет постои антисвет, антивселена.

Стана јасно дека во природата владее некоја симетрија. Тоа не е само заради постоењето на честици и античестици, туку и заради природните закони и нивната универзална важност. Но, и покрај тоа, нашиот свет, онаков каков што го знаеме, не се наоѓа во симетрична состојба. Тој се состои од протони, електрони, неутрони... , а не и од антипротони, позитрони, антинеутрони. Земјата, Сонцето, сите познати небески тела не може да бидат изградени од мешавина на честици и античестици (заради нивната анихилација). Останува неразјаснето зошто постои свет само од материја, а отсуствува антиматеријата (иако природните закони се исти насекаде).

Но, и кога во мислите би допуштиле да постои *антисвет*, тоа би било далеку, далеку од познатите ѕвездени системи заради фактот што при контакт на материја и антиматерија веднаш настанува анихилација со ослободување на огромна енергија. Со нашите претпоставки повеќе не може да одиме. Дури и кога би настанала таква експлозија при средбата на материја и антиматерија, ние тоа не би го разликувале од обичните експлозии затоа што не постојат *антиифотони* што би носеле информација за таков настан.

Барионски и лептонски број

Во сите претворби на честииците при нивните заемнодејства исполнети се законите за запазување на енергијата, импулсот, моментот на импулсот, електричниот полнеж и другите закони познати од макросветот. Но, во светот на елементарните честиици има и други закони кои треба да бидат запазени. Така, по аналогија со електричниот полнеж, се воведуваат и други полнежи.

Многу е важен **барионскиот полнеж (број) В**. Имено, на секоја честиица од групата на барионите ѝ се припишува барионски број $B = +1$, а на античестииците од оваа група, барионски број $B = -1$. На пример, во реакцијата кога се добива π^+ мезон:

$$p + p \rightarrow p + n + \pi^+ \quad (4)$$

$$1 + 1 = 1 + 1 + 0$$

Очигледно, барионскиот полнеж се сочувува при претворбите (колку бариони има на левата, толку се и на десната страна). Пионот π^+ не е барион, па нема барионски полнеж, а за исполнување на законот за одржување на електричниот полнеж е очигледно (два полнежи на лева, два на десна страна).

Лептонски полнеж (број). Каков е случајот со лептоните (најлесните честиици)? Електронот, позитронот, мионите, неутрината, сите имаат свој **лептонски полнеж (број) L**, еднаков на $+1$ за честииците и -1 за античестииците. На пример, да го провериме законот за лептонскиот полнеж кај распад на негативниот мион:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e \quad (5)$$

$$+1 = +1 + 1 - 1$$

Негативниот мион, електронот и неутриното се честиици со лептонски број $+1$, а анти-неутриното има лептонски број -1 .

Од горните закони за запазување е јасно зошто, на пример, не е можен распадот на протонот на овој начин:

$$p \rightarrow e^+ + \gamma \quad (6)$$

(не е исполнет законот за барионски полнеж).

Не е можно да се случи ни претворбата на протонот и електронот во гама кванти:

$$p + e^- \rightarrow 2\gamma \quad (7)$$

затоа што на левата страна има барионски полнеж кај протонот ($+1$), на десната нема. Затоа нашиот свет е така стабилен, постојан, слободниот протон не се распаѓа. Замислете што би се случило ако беше можна горната трансформација!

Од текстот е јасно дека најголем број елементарни честиици се распаѓаат. *Фотоните и неутриноите* се стабилни. Не е чудно што тие не се распаѓаат затоа што се помали, полесни и од најлесните честиици, па нема на што да се распадат. Зошто електронот е стабилен? Тој би можел да се распадне на фотон и неутрино, но тие немаат електричен полнеж, па законот за негово запазување не го допушта таквиот распад. А протонот? Тој е најлесен барион и ако би се распаѓал ќе се наруши законот за барионски полнеж. А законите се за тоа да не се нарушуваат!

3.14. ВИДОВИ ЗАЕМНОДЕЈСТВА МЕЃУ ЕЛЕМЕНТАРНИТЕ ЧЕСТИЦИ

Процесите во коишто учествуваат елементарните честиици се неброени, но сите тие процеси се последица на точно одредени видови заемнодејства меѓу нив. Дури, класификацијата на елементарните честиици покрај разликите во нивните маси и другите својства се прави и според заемнодејствата со кои тие си делуваат, макар што тоа не е строго разграничено.

Во природата постојат четири типа заемнодејства:

1. **Гравитационо заемнодејство**. Ова е универзално заемнодејство (интеракција) во која учествуваат сите честиици. Но, заради малите маси на честииците, оваа интеракција нема значајна улога во процесите во микросветот, иако радиусот на дејството е неограничен. Преносител на заемнодејството меѓу масите m_1

и m_2 не е откриен, а се претпоставува дека тоа би била хипотетичка честичка *гравитон*, квант на гравитационото поле, честичка со нулта маса во мирување.

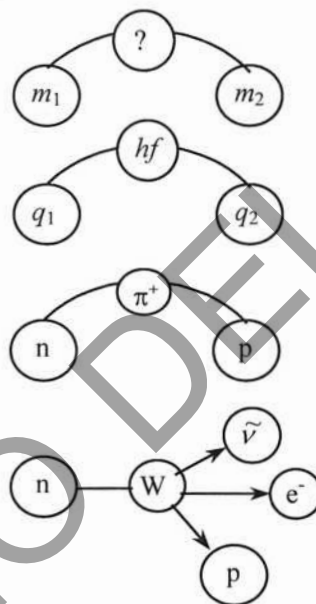
2. *Електромагнетско заемнодејство*. Во него учествуваат само наелектризирани честички (q_1 и q_2), значи, тоа не е универзално како гравитационото. Радиусот на дејството е неограничен. Ова заемнодејство е одговорно за градбата на атомите, молекулите, а со тоа и на сите тела. Интеракцијата се одвива преку електромагнетско поле а преносници на интеракцијата се *фотони* hf . Нивната маса во мирување е нула, немаат електричен полнеж, спинот е 1. Овие заемнодејства ги изучува *квантната електродинамика*, комплетна теорија во која сите физички величини можат да се пресметаат со висока точност и не се разликуваат од експериментално одредените вредности.

3. *Силни заемнодејства*. Тие се карактеристични за нуклеоните (p и n). Интеракцијата се одвива преку *нуклеонско поле* чии кванти се пионите (на нашата слика π^+) коишто имаат одредена маса на мирување, па затоа дејството брзо опаѓа со зголемување на растојанието меѓу нуклеоните. Силното заемнодејство е својствено на честичките од групата на хадрони. Тоа не е универзално затоа што во него не учествуваат лептоните и фотоните.

Важна карактеристика на силното заемнодејство е малиот радиус на дејството, т.е. *крајнок досеѓ*. Според експерименталните резултати, нуклеарните сили делуваат на растојанија од редот на големина на јадрото $\approx 10^{-13}$ cm.

4. *Слаби заемнодејства*. Овој вид интеракции помалку се изучени затоа што електромагнетските и силните имаат многу поголемо дејство и го "покриваат" слабото. Иако се слаби во вистинска смисла на зборот (10^{14} пати послаби од силните интеракции и 10^{10} пати послаби од електромагнетските), тие се причина за распаѓањето на нестабилните честички. Значи, тие се "одговорни" за најголемиот број трансформации што настануваат (да се потсетиме дека β -распадот е последица на слабото заемнодејство). Слабите интеракции не се ни привлечни, ни одбивни, слично како силните делуваат на многу мали растојанија.

На сл. 1. е прикажан распаѓот на неутронот под дејство на овие сили.



Сл. 1.

Слабите заемнодејства се универзални, во нив учествуваат сите честички.

Современите теории претскажаа дека како преносници на слабите заемнодејства треба да бидат честички коишто би имале голема маса и тешко е да се детектираат заради краткото време на живот. Тоа се т.н. *векторски бозони* W^+ , W^- и Z^0 . Потрагата по овие честички вроди со плод и тие експериментално се докажани кон крајот на 1983 год. (тим со кој раководеше К. Рубиа). Нивната маса беше во граници што ги претскажа теоријата. Наелектризираните векторски бозони W имаат маса 81 GeV, а неутралниот бозон Z^0 има маса 93 GeV. Нивната голема маса зборува дека досегот на слабото заемнодејство е многу мал.

Експерименталното откривање на векторските бозони претставуваше врвен дострел на експерименталната техника на високи енергии. Со техничко усовршување на еден од најголемите акцелератори во ЦЕРН (Европски центар за нуклеарни истражувања), Женева, достигнати се огромни енергии на снопови на протони p и антипротони $\bar{p}$ да се движат во спротивна насока и да се судираат. За да се

добие доволен број антипротони, тие се "складираат" во специјални уреди и за 24 часа се акумулираат скоро 600 милијарди антипротони. Дури потоа се врши главното забрзување на сноповите до фантастичните 270 GeV! Кон крајот на 1983 год. математички се обработени скоро 40000 судири од кои само шест дале позитивен резултат (присутни векторски бозони).

Современите физички теории трагаат по заеднички основи за обединување на различните видови заемнодејства за да можат тие да се прикажат со една единствена теорија. Уште А. Ајнштајн долго време беше окупиран со идејата да најде начин да го постигне таквото обединување, но тогаш тоа не беше можно. Денес е постигнат значаен успех со обединувањето на слабите и електромагнетските заемнодејства во една единствена теорија на *електро-слабо заемнодејство*.

Овој успех им даде поттик на физичарите и натаму да бараат начин како може и силното заемнодејство да се прикаже заедно со другите. Такво обединување би било можно на растојанија помали од 10^{-31}m . Тоа би била *Голема обединетата теорија* (GUT) на заемнодејствата што би значело повисоко ниво на сознание на структурата на материјата и во микро и макросветот.



Абдус Салам *Abdus Salam*, 1926-1996). Роден во Џанг, Пакистан. Во 1974 год. доби Нобелова награда за физика (заедно со Ш. Глешоу и С.Вајнберг) за создавање на теорија за обединување на слабото и електромагнетското заемнодејство.



Карло Рубиа (1934 -) е роден во Гориција, Италија. Ја доби Нобеловата награда за физика во 1984 год. (заедно со С. ван дер Мер) за својот придонес во откривање на векторските бозони, носител на слабото заемнодејство.

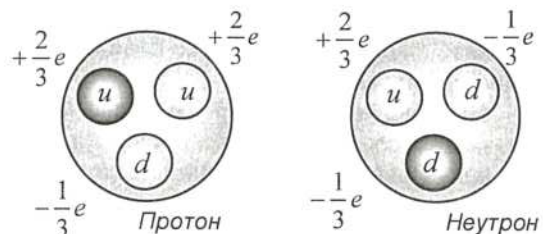
3.15. ПОИМ ЗА КВАРКОВИ. КВАРК-ЛЕПТОНСКА СИМЕТРИЈА

М. Гел-Ман и Ц. Цвајг во 1964 год. дојдоа на мисла дека е доста компликуван начинот на кој материјата е изградена со така голем број елементарни честичи (повеќе од стотина). Природата би требало да биде поекономична. Тие сметаа дека големиот број на елементарни честичи треба да се изградени од поедноставни, поелементарни честички.

Така се роди идејата за *кварковите*. Тие би имале мошне необични својства. Во прв ред нивниот електричен полнеж треба да биде дробен, нецел број. Електричниот полнеж на трите кварки (се разбира и антикварки) е $+2/3$, $-1/3$ и $1/3$ од елементарниот полнеж. Дадени им се називи:

u (up), d (down) и s (strange).

Со нив лесно се претставуваат честичите: на пример, протонот има комбинација (uud), неутронот (udd), пионот е комбинација на кварк -антикварк ($u\bar{d}$), неутралниот пион π^0 има состав ($u\bar{u}$) итн. Не само електричниот полнеж, туку и другите својства (барионски број, спински број) се вклопуваат во шемата.



Сл. 1.

Откривањето на нови честичи ја наложи потребата од зголемување на бројот на кварковите. Денес се смета дека постојат шест вида кварки од кои се изградени сите бариони и мезони. Останатите три кваркови се:

c (charm), b (bottom) и t (top).

Сите кваркови имаат барионски број $+1/2$ и спински број $+1/2$. Квантните броеви на антикварковите се со обратен знак.

Со помош на кварковите направена е систематизација на честичите во одделни групи што се покажа мошне успешно. Дополнителните проблеми што се појавуваа при откривање на новите честичи се решаваа со дополнителни претпоставки. Така на пример, според систематизацијата, кога се откри хиперонот Ω^- , требаше да има кварков состав (sss), затоа што барионскиот број му е $+1$, електричниот полнеж -1 , а спинскиот број $3/2$. Но, Паулиевiot принцип ја исклучува можноста три идентични честички да се најдат во иста квантна состојба (трите честички треба да имаат паралелни спинови за збирот да биде $1/2+1/2+1/2=3/2$). Затоа е претпоставено дека кварковите се разликуваат и по додатен квантен број - **боја**.

Ова нема врска со бојата каква ја знаеме, туку тоа е само својство што така се опишува. Областа од физиката на честичи што се занимава со "обоените" кваркови се вика **квантна хромодинамика** (грчки chromos - боја).

Шесте кваркови и шесте лептони прикажани на долната шема ја чинат шемата на т.н. *кварк-лептонска симетрија*. Тие се основа на *Стандардниот модел*, теорија со која физичарите ја опишуваат структурата на Вселената и сè што постои во неа. Од кварковите се изградени јадрата на атомите, а електроните се движат околу нив. Кварковите и лептоните (заедно) можат да се поделат на три фамилии, три генерации.

Во *првата генерација* се u и d кварковите заедно со електроните и електронските неутрина. Овие четири честичи се доволни за се создаде светот каков го знаеме, со сета разновидност на атоми, молекули и повиоки структури.

Ако природата можела комплетно да се изгради од честичите од првата генерација, каква е смислата на другите две? *Втората генерација* се состои од **чудниот s - кварк** и **шарм c - кваркот** заедно со мионот и мионското неутрино. Тогаш кога ќе се добијат (обично лабораториски) овие честичи под дејството на слабите интеракции брзо се распаѓаат на честичите од првата генерација.

Според *Големата обединетата теорија* на заемнодејствата, би можело да дојде до претворби меѓу кварковите и лептоните. По аналогича, би постоел преносник на заемнодејството, честича со маса 10^{15} пати помасивна од протонот. Но, теоријата претпоставува обединување на заемнодејство на мали растојанија ($\sim 10^{-31}\text{m}$) при огромни енергии што експериментално не може да се оствари.

Кварковите во лабораторија не може да се добијат одвоено, засебно. Тие се "заробени" во честичите. Што е најчудно, силата со која се држат во честичите расте со меѓусебната оддалеченост, слично кога се затегнува гумена лента. Се смета дека кварковите се така силно врзани во честичите што не може да се одделат. Докази за нивното постоење се изведуваат од однесувањето на честичите во кои се содржат. На пример, во 1974 година кога беше објавено откритието на нов кварк (charm-кваркот) фактички беше добиена нова честича која со своите особини не се вклопуваше во дотогашната слика на честичи составени од кварковите u , d и s .



Мареј Гел Ман (Murray Gell-Mann, 1929 год) е професор на Калифорнискиот универзитет го вовел поимот за **чудност** независно од Нишичима законот за негово запазување. Направил класификација на фундаменталните честичи што учествуваат во силните интеракции, го претскажал постоењето на Ω хиперонот. Во 1969 година за откривање и класификација на елементарните честичи.

Современите теориски физичари понекогаш имаат и необична смисла за хумор. Така, Гел-Ман се одлучил за називот кварк, читајќи го романот на Џ.Дџојс "Будењето на Финеген".

	Честица	Симбол	Полнеж	Маса (GeV/c ²)
Прва генерација				
Кваркови	up	u	+2/3	0.03
	down	d	-1/3	0.06
Лептони	electron	e ⁻	-1	0.0005
	electron neutrino	ν _e	0	0?
Втора генерација				
Кваркови	charm	c	+2/3	1.3
	strange	s	-1/3	0.14
Лептони	muon	μ ⁻	-1	0.106
	muon neutrino	ν _μ	0	0?
Трета генерација				
Кваркови	top	t	+2/3	174
	bottom	b	-1/3	4.3
Лептони	tau	τ ⁻	-1	1.7
	tau neutrino	ν _τ	0	0?

?

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Кои честици се сметаат елементарни?
2. Колкаво е времето на живот на мионите? Како се распаѓаат?
3. Зошто од Сонцето се емитуира неутрински флукс? Каде одат тие неутрина?
4. Колкава е масата на каоните? Какви каони има?
5. Како може да се распадне неутралниот ламбда хиперон?
6. Како е извршена класификацијата на елементарните честици?
7. Напиши ја Дираковата релативистичка равенка за електронот. Која е нејзината важност?
8. Која е првата откриена античестица? Како е откриена?
9. Дали е можно да постои антифотон? Дали би се разликувал од фотонот?
10. Каква разлика постои меѓу неутронот и антинеутронот?
11. Зошто не е можен распаѓот на протонот на позитрон и на гама зрачење?

12. Радиусот на дејството на гравитационото и електромагнетското заемнодејство е бескраен, но за движењето на небеските тела важна е само гравитацијата. Зошто?

13. Слабите заемнодејства можат да се карактеризираат со познатата изрека: Тивка вода брег рони. Зошто?

14. Кои се преносителите на слабите заемнодејства? Како се откриени?

15. Колку кваркови постојат? Што е необичното кај нив?

16. Зошто беше потребно да се претпостави додатен квантен број “боја” за кварките?



За оние кои сакаат подетално да се запознаат со нови информации за елементарните честици ја препорачуваме веб-страницата на CERN:

<http://www.cern.ch>

Подетално за носителите на Нобеловата награда од оваа област може да се најде на адресата:

<http://www.nobelprize.org>

СТРУКТУРА НА ВСЕЛЕНАТА

3. 16. Хиерархиска организација на Вселената: од елементарни честички до гигантски галаксии

Вселената е сè што постои, што било кога постоело и што секогаш ќе постои, нешто бесконечно, голема тајна сè уште несфатлива за човечкиот ум. Дури и обична помисла за Вселената кај нас предизвикува неспокојство, чудно чувство што тешко се објаснува. Свесни сме дека тоа е тајна поголема од сите тајни, тоа е надвор од обичното човечко поимање, пошироко од сè она што астрономијата досега го спознала. Старите Грци го употребувале терминот *космос* (што значи "ред") за оној дел од Вселената што се владее како совршен, хармонично построен систем кој се потчинува на универзални физички закони.

1. Свезди. Галаксии

Ако ноќе го подигнеме погледот кон небото, ќе забележиме огромен број светли небески тела. Во најголем број тоа се свезди (сл. 1). Секоја свезда припаѓа на некој систем, сличен состав на свезди кои се групирани. Таквите системи се викаат **галаксии**.



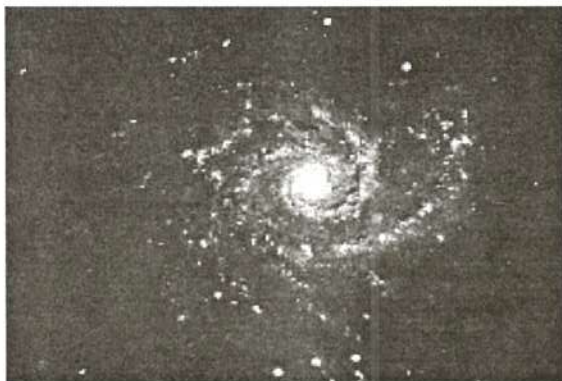
Сл. 1.

На сл. 2 е прикажана карта на целото небо со видливите свезди. Светлиот појас ја претставува Галаксијата во која припаѓа нашиот Сончев систем. Таа се вика **Млечен Пат** и има скоро милијарда свезди

Уште *Галилеј* во 1610 год. со телескоп забележал дека Млечниот Пат е составен од свезди, а подоцна, *В. Хершел* со подобар телескоп ја утврдил нивната застапеност и групирање. Од нив само малку се гледаат со голо око. Галаксијата Млечен Пат има облик на спирала (сл. 3).

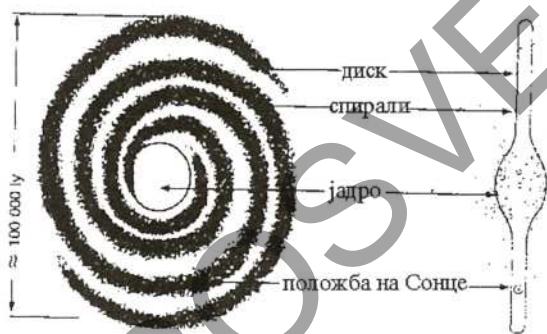


Сл. 2.



Сл. 3.

Ако нашата галаксија би се гледала од страна, таа би имала изглед на двојно испакнат диск со дијаметар околу 30.000 ps (парсеци) и централно проширување околу 4.000 парсеци. Дијаметарот на јадрото е околу 1.300 парсеци. Со помош на радиоастрономски методи, Ј. Орт (1900-1992) недвосмислено ја потврди спиралната структура на галаксијата (сл. 3а).



Сл. 3 а.

Во галаксијата можат да се забележат области со зголемен број ѕвезди; овие области се шират од јадрото кон периферијата. Тие се *спиралните ракави* на галаксијата каде што се групирани ѕвездите гиганти, со висока површинска температура, водородни облаци и прашина (ѕвездена популација од I тип). Во просторот меѓу спиралните ракави има не само ѕвезди гиганти, туку и *ѕвезди-цуциња* со

пониска површинска температура. Во далечните предели на галаксијата е втората група ѕвезди (*ѕвездена популација од II тип*) кои се разликуваат од првите не само по положбата, туку и по хемискиот состав. Тоа значи дека тие се создале во различни услови и се на различна "возраст".

Зошто било важно да се знае формата на галактиката? Тоа укажува на ротационо движење на целиот систем и со пресметки се добива дека Сонцето обиколува околу галактичкиот центар за 250 милиони години (сметајќи средна брзина од 220 km/s). Според III Кеплеров закон се добива дека масата на нашата галактика е околу 10^{11} сончеви маси! Фантастично, зар не? Но некои галаксии имаат многу, многу поголеми маси.

Така, ниту живееме на Земја што е центар на светот, ниту Сонцето е центар на светот, ниту нашата галаксија е нешто посебно во однос на другите галаксии!

Сончевиот систем (а со тоа и Земјата) се наоѓа во внатрешноста на галаксијата, па затоа на нокното небо ние ја гледаме нашата галаксија во облик на бел магличест појас чии краеве се оддалечени стотина светлосни години. Х. Шепли докажал дека Сончевиот систем се наоѓа на оддалеченост од 10.000 светлосни години од центарот на нашата галаксија, значи, Сонцето не е центар на ѕвездиот систем.

Сонцето како ѕвезда што е од животна важност за нас, не е некаква посебна ѕвезда. Како него има милијарда-милијарди ѕвезди. Меѓу нив има такви кои имаат илјадници пати посилен сјај од сончевиот, но се наоѓаат на многу големи растојанија. Густината на материјата во центарот на Сонцето достигнува 150000 kg/m^3 , а притисокот од ред на 10^{16} N/m^2 со што е овозможено да се одвиваат термонуклеарни реакции при што секоја секунда 600 милиони тони од неговата маса се претвора во 596 милиони тони хелиум. Разликата на овие маси според Ајнштајновата равенка

$$E = mc^2$$

како енергија што се зрачи во просторот.

2. Класификација на галаксиите

Долго време се сметаше дека нашата галаксија е единствен познат свезден систем. Но, во 1924 год. Е. Хабл докажа дека многу од дотогаш набљудуваните небески маглини всушност се далечни галаксии. Денес се цени дека во Вселената има барем сто милијарди галаксии и секоја од нив содржи просечно по сто милијарди ѕвезди.

Најблиски галаксии до нашата се Магелановите облаци кои можат да се видат од јужната хемисфера како нејасни облаци покриени со вел што го создаваат ѕвездите од нашата галаксија. Од северната хемисфера одвај видлива со голо око во ведрите есенски ноќи, е маглината Андромеда (сл. 4). Оддалечена е скоро два милиони светлосни години. Се смета дека таа има двапати повеќе ѕвезди отколку нашата галаксија.



Сл. 4.

Нашата галаксија своето постоење го започнала како огромен облак од водород и хелиум кој најверојатно имал дијаметар околу 300.000 светлосни години. Таа била само една од многуте гасни маглини кои заради гравитацијата го смалувале постојано својот волумен и станувале сè погусте делејќи се на помали делови кои ги изградиле првите ѕвезди составени само од водород и хелиум. Подоцна

создадените ѕвезди, на пр. Сонцето, во својот состав покрај водород и хелиум имаат и потешки елементи, јаглерод, силициум, железо, кои настанале при експлозиите на Суперновите со што се расеале во Вселената. Бидејќи Галаксиите имаат различни форми и размери, Е. Хабл ги класификувал во три основни групи:

- елиптични
- спирални и
- неправилни.

Елиптичните галаксии (Е) најчесто имаат силно издолжена елиптична форма, но можат да бидат скоро сферни (сл. 5).



Сл. 5.

Спиралните галаксии се поделени на

- нормални спирални галаксии како галаксијата Млечен Пат и
- неправилни спирални галаксии кои што не личат на некоја определена геометриска форма. Тие содржат “млади” ѕвезди, гасови и прашина. На сл. 6 е покажана една спирална галаксија.

Нашата галаксија припаѓа на една група од 30-тина галаксии кои што се на растојание помало од 1 мега парсек. Тоа е *Месното галактичко јато* што во каталогот на *Месие*



Сл. 6.



Сл. 7.

се обележува со M31 (таму спаѓаат соѕвездие АндроМЕДА, Големиот и Малиот Магеланов облак и други). Нашето Месно галактичко суперјато има маса околу 10^{15} сончеви маси. Најголем број галаксии припаѓаат кон вакви галактички јата; бројот на галаксиите во нив може да биде и до неколку илјади.

Во астрономијата се познати и *галактички суперјата*, повеќе јата што просторно припаѓаат во еден таков систем. Галактичките суперјата се најголемите структури во Вселената што сè уште се гравитационо поврзани, а нивните размери се околу 100 Mpc.

На сл.7 прикажано е галактичко јато т.н. "Стефанов квинтет", група од пет привидно поврзани галаксии за кои се смета дека се оддалечени приближно 250 милиони светлосни години. Од нашата галаксија се оддалечуваат со брзина од 6.000 km/s.

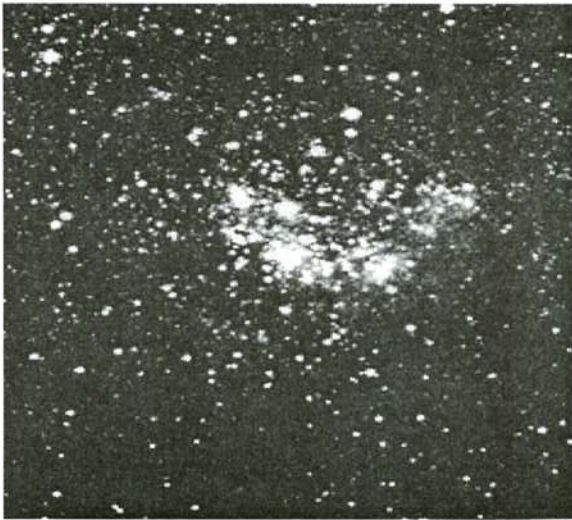
3. Тајната на Големиот Атрактор

Се покажало дека Месното суперјато заедно со уште неколку соседни галактички суперјата трпи гравитационо привлекување од

непознато потекло чиј извор астрономите го нарекле *Големиот Атрактор*. Брзината со која се оддалечуваат од нас сите галаксии во околните суперјата е од ред на 600 km/s и е насочена кон соѕвездието Центаур каде што се "крие" Големиот Атрактор.

Се проценува дека масата што го предизвикува ова групно движење е приближно еквивалентна на $5 \cdot 10^{16}$ сончеви маси. На тоа место се наоѓа богато галактичко јато со назив Абел 3627, но неговата маса е мала за да се објасни гравитационата сила на Големиот атрактор. Но "тој" е сигурно таму, иако неговата "скриена маса" (dark matter) не е достапна за директно набљудување со инструментите што ги поседуваме.

Со најмодерните телескопи констатирано е постоењето на десетина милијарди галаксии групирани во галактички јата (сл. 8) и суперјата. "Погледот" на овие телескопи допира до оддалеченост од десет милијарди светлосни години од нашата галаксија. Тоа е набљудуваниот дел на Вселената (сфера со радиус приближно 10^{25} m). Во секоја галаксија се содржат просечно 10^{11} ѕвезди (сто милијарди ѕвезди).



Сл. 8.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Каква е разликата меѓу поимите Вселена и Космос?

2. Колкави се димензиите на нашата галаксија? Како би изгледала ако би можела да се види од некоја друга галаксија?

3. Луѓето биле разочарани кога Коперник покажа дека Земјата не е центар на светот, кога Х. Шепли покажа дека Сонцето не е во центарот на галаксијата, кога стана јасно дека нашата галаксија не е ни единствена, ни најголема, ни најбројна со ѕвезди! Што мислите, зошто?

4. Кои се основните групи галаксии според Е. Хабл?

5. Каде припаѓа (во која група) нашата галаксија?

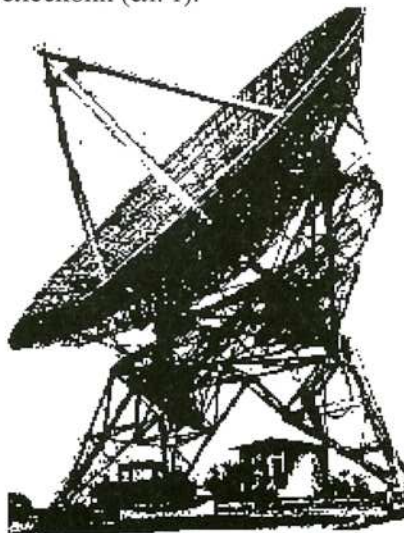
6. До каде допира "погледот" на најмоќните телескопи (во светлосни години)?

7. Колку галаксии се проценува дека постојат? Колку ѕвезди има во секоја галаксија?

3. 17. ЗРАЧЕЊЕ ВО ВСЕЛЕНАТА

Низ земјината атмосфера поминува поголем дел од видливото подрачје од електромагнетскиот дел на спектарот што се емитува од небеските објекти и тоа е предмет на истражување на *оптичката астрономија*. Но, атмосферата пропушта голем дел од инфрацрвеното подрачје како и подрачјето на радиобрановите кои исто така можат да бидат емитирани од небески објекти. Нивното проучување доведе до развој на *радиоастрономијата*.

Радиоастрономијата како метода за испитување на небеските објекти својот почеток го имаше во триесетите години на 20 век кога К. Јански направи голема антена за "прислушување" на радиобрановите што доаѓаа од Вселената. Во неа се изучуваат космичките објекти преку следење на нивното електромагнетско зрачење во радиобрановото подрачје. Регистрација на тоа зрачење се врши со радиотелескопи (сл. 1).



Сл. 1.

За разлика од оптичките телескопи кои бараат поволни атмосферски услови за набљудување, радиотелескопите го немаат тоа ограничување. Предност е и можноста да се

градат големи радио антени или комплексни антени за покривање на одредени подрачја од спектарот на радиобрановите.

Лоцирани се повеќе извори на микробраново зрачење што беше поттик да се направат радиотелескопи со големи димензии, многу поголеми од оптичките. Така, еден од најголемите радиотелескопи во Аресибо (Порто Рико), има антена со дијаметар од 300 m, сместена во кратер на изгаснат вулкан. И покрај фактот што со радиоастрономијата се откриени радиоизвори на многу поголеми растојанија од оптичките извори, сепак оваа метода има недостаток заради малата разделна моќ што оневозможува точно лоцирање на космичките радиоизвори.

Некои небески тела емитураат *рендгенско и γ -зрачење*, но земјината атмосфера го апсорбира, како и голем дел од ултравиолетовото зрачење. Сепак, со развојот на космичките летови овозможено е да се проучува и тој дел од зрачењето, па во последно време се развија и методите на рендгенската и γ -астрономијата.

За истражувања на свездените објекти изградени се големи астрономски опсерватории каде што се монтираат телескопи, спектрографи и други уреди комплетирани со прибори за визуелна, фотографска и фотоелектрична регистрација.

Електромагнетското зрачење што носи информации за сите објекти во Вселената настанува во процеси што се одвиваат на атомско ниво. Од таму, за разбирање на Вселената, потребно е проучување не само на појавите во макросветот, туку и на појавите и законитостите во микросветот, кои се неразделно поврзани.

Користењето на физичките методи во проучување на небеските објекти овозможи да се развие нова област на астрономијата, тоа е **астрофизиката**. Таа ја проучува состојбата на материјата и нејзините структури во космички размери, како и физичките процеси што се одвиваат во небеските тела. Почетокот на оваа дисциплина датира од средината на XIX век кога за прв пат се искористени методите на оптичката спектроскопија во астрономски

испитувања. Особен подем на астрофизиката и дадоа модерните физички дисциплини: физика на плазмата, физика на елементарните честии, квантната физика, теоријата на релативноста.

Астрофизиката го откри составот и структурата на небеските објекти. Така, постоењето на хелиумот првин беше откриено на Сонцето, па дури потоа се откри дека го има и во земјината атмосфера. Одредени се брзините на небеските тела со помош на Доплеровиот ефект, кои поинаку би било многу тешко да се одредат.

Од космички аспект, нашата земја е само невидлива точка во бескрајната Вселена што има сличен состав како и другите небески тела. Таа нема некое посебно место. Ако не беше среќната околност што Сонцето е толку блиску да и дава енергија, Земјата би била едно мртво парче вселенска материја со температура блиску до апсолутната нула.

Небеските објекти емитураат зрачење според законите за емисија и апсорпција на црно тело што беа утврдени кон крајот на 19 и почетокот на 20 век. Тоа се:

1. Законот на Стефан -Болцман кој што вели дека енергијата што ја емитура апсолутно црно тело со површина S во единица време е пропорционална на четвртиот степен од неговата апсолутна температура:

$$E = S \sigma T^4 \quad (1)$$

каде што $\sigma = 5,67 \cdot 10^8 \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$ е наречена Стефан-Болцманова константа.

2. Виновиој закон за зрачење:

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = b \quad (2)$$

каде што λ_{max} е бранова должина на која свездата емитура максимум зрачење при температура T . Бидејќи константата b е позната, со инструмент само треба да се одреди λ_{max} и може да се пресмета површинската температура T на свездата која за различни ѕвезди се менува од неколку илјади, до неколку десетици илјади степени.

СПЕКТРАЛНА КЛАСИФИКАЦИЈА НА СВЕЗДИТЕ

При набљудување на "ноќното" небо, паѓа в очи дека небеските објекти имаат различен сјај. Бројот на сјајните ѕвезди е помал во однос на оние со среден или слаб сјај. Се смета дека на небескиот свод со голо око (од северната и јужната хемисфера) можат да се забележат до 6000 ѕвезди. Свездите со послаб сјај се детектираат со инструменти.

Покрај разликите во сјајот, небеските објекти имаат и различна боја. Некои се црвени (Бетелгез во созвездието Орион, Антарес во созвездието Скорпион), други се жолти (Сонце, ѕвездата Капела), бели (Вега во созвездието Лира), сино-бели (Ригел во Орион). Бојата на ѕвездата носи информација за температурата на нејзината површина.

Од снимените спектри на некој вселенски објект можат да се добијат податоци за хемискиот состав, движењето, густината итн. Добиените спектри се континуирани и врз нив се суперпонираат апсорпциони линии што зависи од слоевите над ѕвездата низ кои поминува зрачењето. Било утврдено дека ѕвездите и другите небески тела се состојат од истите елементи кои се присутни и на Земјата што кажува дека целата Вселена е изградена на ист начин. Повеќето ѕвезди имаат сличен состав како Сонцето; скоро 70% од составот е водород, 28% е хелиум, а 1-2% се присутни сите други елементи.

За класификација на спектрите на ѕвездите во астрофизиката се користи т.н. **МК-систем** според научниците Морган и Киан што ја вовеле. Во овој систем ѕвездата се класификува според две карактеристики: *спектрална класа* и *класа на сјајот* (*луминозитет*).

Постојат седум основни *спектрални класи ѕвезди* (**O, B, A, F, G, K, M**) и четири специјални. Секоја класа е поделена на десет поткласи (означени со бројките 0-9). Со соодветни ознаки по оваа класификација, секоја ѕвезда си има свое "име и презиме". Поаѓајќи од класата O кон M, карактеристичната температура на ѕвездите опаѓа а со тоа и бојата се менува. Свездите од класата O се сино бели, имаат големи маси, висок сјај во УВ-

подрачјето поради високата површинска температура (25-35.000 K). Најинтензивните линии се од јонизирани атоми на He, H, C, O, N и др. Типични ѕвезди од оваа класа се λ -Орион, λ -Цефеј.

Свездите од класата M се црвени ѕвезди во чии спектри најмногу има апсорпциони линии на јоните од метали. Нивната површинска температура е 2.500 - 3.500 K. Такви се веќе споменатите Бетелгез, Антарес, Мира Цети како и други ѕвезди.

Класи на сјај (луминозитет). На една иста температура (иста спектрална класа) некои ѕвезди ќе зрачат повеќе енергија, што зависи од нивната големина (радиус). Така, дефинирани се и седум *класи на ѕвезди по сјај* кои се обележуваат според римските цифри: I класа се *суперџантите*, а во VII се *белиите џуџиња*. Фактички, оваа класификација на ѕвездите е според нивниот радиус и густината на нивната атмосфера.

Да споменеме дека некои од овие класи имаат и подкласи (a, ab, b). Сонцето спаѓа во класата G каде ѕвездите имаат жолта боја, површинска температура приближно 6000 K, а нивните спектри имаат многубројни апсорпциони линии од јонизирани метали и други елементи. Така, нашето Сонце во МК-системот се бележи G2 V (Сонцето е жолто џуџе), а Бетелгез, α ѕвезда од Орион е M2 Iab (црвен суперџигант).

Во познатиот Хенри-Дрејперов каталог има податоци за положбата, привидната големина, спектралните својства и др. за 500.000 ѕвезди. Тоа е *проучената харвардска спектрална класификација* која се смета за најкомплетна. Освен неа, има и други класификации.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Која е разликата меѓу оптичката астрономија и радиоастрономијата?
2. Какво зрачење можат да емитираат небеските објекти? Во која област?
3. Што е предмет на изучување на астрофизиката?

4. Кои се физичките закони што важат за зрачењето на небеските објекти?

5. Каков е типичниот состав на ѕвездите, кои елементи ги содржат?

6. Колку ѕвезди на небескиот свод може да изброите со голо око?

7. Која е најпознатата класификација на ѕвездите? Според кои карактеристики се прави? Кои се основните спектрални ѕвездени класи?

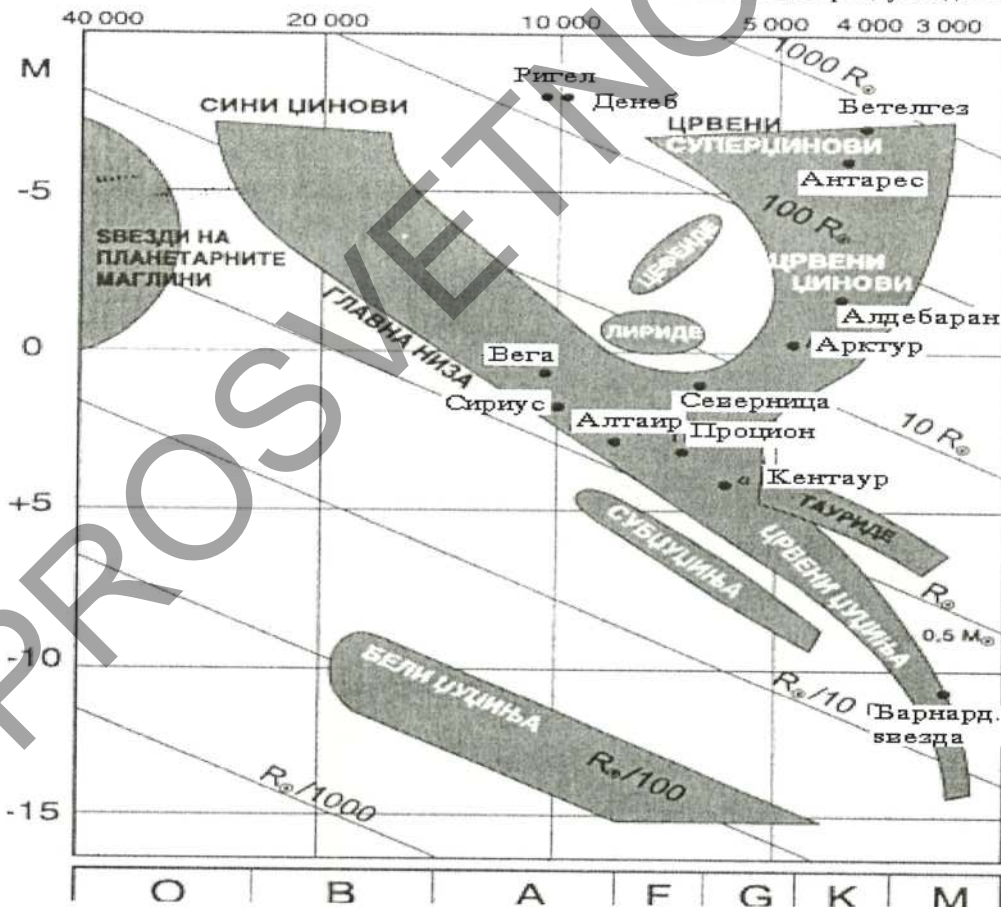
9. Во која класа спаѓа нашето Сонце? Кои се карактеристиките?

10. Да се определи температурата на површината на Сонцето и неговиот луминозитет L . Дадени се: $R=7 \cdot 10^8 \text{ m}$, $\lambda_{\text{max}}=500 \text{ nm}$, растојанието Земја-Сонце $= 1 \text{ AU}$ ($1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$). Соларната константа е 1370 W/m^2 . ($T=5800 \text{ K}$, $L=3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$)

3.18. СТЕЛАРНА ЕВОЛУЦИЈА

Во Вселената сè е во непрекинато движење, сè се менува. И ѕвездите имаат свој "живот", се создаваат, постојат, а потоа ги снемјува, се раѓаат нови ѕвезди. Нивниот "живот" трае десетици милијарди години, а тоа во прв ред зависи од нивната маса; *износот на масата на ѕвездата е главен фактор на ѕвездената еволуција.*

Протосвезда. Меѓуѕвездената материја, гас и друго, е составена од честици со големина $60\text{--}80 \mu\text{m}$ чија концентрација е многу мала (меѓуѕвездениот простор е подобар вакуум од оние постигнати во лабораториски услови). Ако нивната концентрацијата достигне $10^5\text{--}10^6$



Сл. 1.

честички во 1cm^3 , поради гравитацијата, почнува да се формира облак (сл.12а) чии честичи се привлекуваат кон центарот (условно кажа-но) на облакот. Така настанува *протосвезда* чија температура во почетокот е блиска на температурата на меѓузвездениот гас (-170°C).

Со тек на времето, движејќи се кон центарот, честичите си ја зголемуваат брзината, а со тоа и енергијата. Оваа фаза на контракција долго трае, но сепак на одреден стадиум од развојот, температурата толку пораснала што сите атоми се јонизирани, постојат електрони и водородни јадра (протони). Дијаметарот на овој систем кој има јадро и обвивка достигнува 100-тина милиони километри, внатрешната температура до $\approx 150.000^\circ\text{C}$, а надворешната 3000°C .

1. Херцшпрунг-Раселов дијаграм

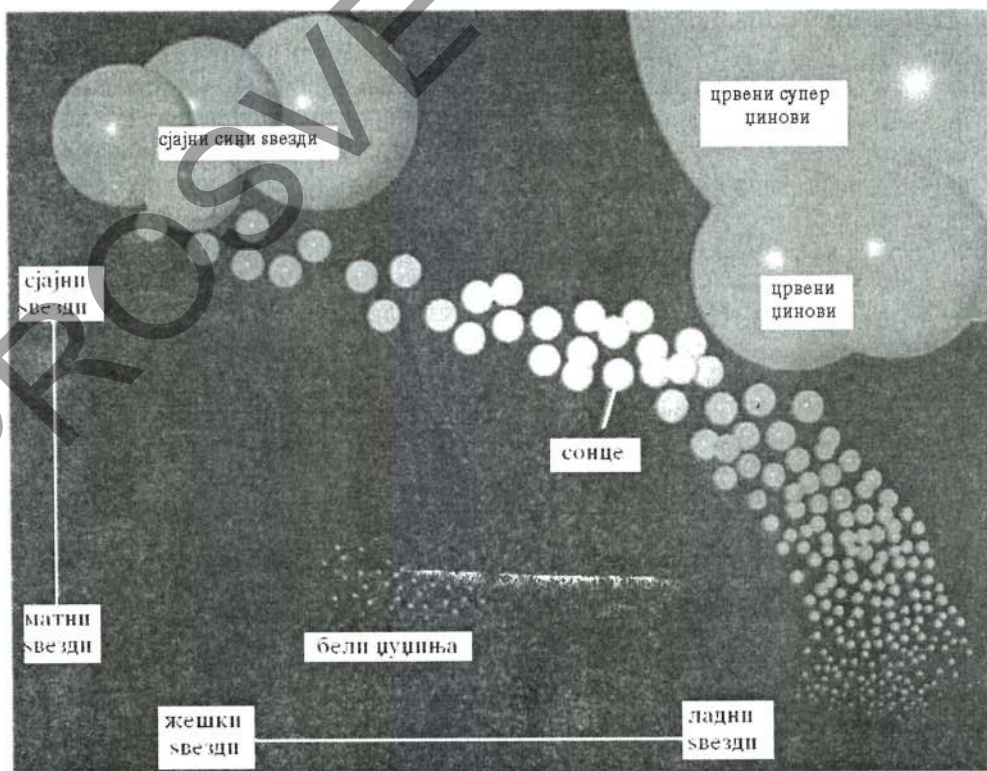
Од тој степен на развојот натаму, современите теории доста добро ја опишуваат "историјата" на ѕвездата. Имено, *Е. Херцшпрунг* и *Х. Расел*, независно еден од друг, нашле врска меѓу апсолутната магнитуда (сјај) на ѕвездите и нивната површинска тем-

пература. Ако таа зависност се прикаже графички (сл. 1), се добива Херцшпрунг - Раселов (H-R) дијаграм.

На дијаграмот, најголем број ѕвезди се наоѓаат приближно на една линија што се вика *главна низа*. Првиот тоа го направил за ѕвездите од ѕвездените јата Плејади (Квачка) и Хијади, а вториот за ѕвездите од околината на Сонцето. Тоа се ѕвезди чии радиуси се од $0,5 - 7 R_0$ (сончеви радиуси).

На апсцисата е температурата (од 40.000 до 2.500 K), а на ординатата е магнитудата (сјајот). H-R дијаграмот опфаќа ѕвезди чии апсолутни магнитуди варираат од -6^m до $+15^m$. Од него може да се определи оддалеченоста на ѕвездата. Првин се снима спектарот на ѕвездата и од таму се одредува нејзината површинска температура. Потоа од дијаграмот се одредува нејзината апсолутна магнитуда, и на крај се пресметува оддалеченоста според формулата.

Ѕвездите што се наоѓаат над главната низа се *црвени џинови* и *суперџинови*, а ѕвездите под неа се наречени *бели џуџиња*. Најголемиот број ѕвезди (Белатрикс, Спика, Регул, Алгол, Кастор, Мизар, Сириус- α , УВ Кит, Вега, Алтаир, Процион, Кентаур) се нао-



Сл. 2.

ѓаат на главната низа каде што се наоѓа и Сонцето. Свездите суперџинови се мошне поретки од црвените џинови.

Откриен е мал број бели џуџиња што е нормално да се очекува затоа што можат да се откријат само најблиските до нас.

Да проследиме како од нормална звезда од главната низа се добиваат другите типови ѕвезди. Создадената протосвезда мошне брзо се вклопува на главната низа (според сјајот и температурата). Терминот "брзо" се однесува на процеси во Вселената и означува неколку стотини милиони години. Нејзиниот вистински живот се одвива токму тогаш кога температурата во центарот достигне 10-ина милиони степени. Тогаш започнуваат да се одвиваат термонуклеарните реакции што веќе ги опишавме.

На почетокот површинската температура изнесува $\sim 4000 - 5000^\circ\text{C}$, и ѕвездата има голем сјај. За неколку десетици милиони години процесите се стабилизираат, температурата на површината достигнува $\sim 6000^\circ\text{C}$, а во внатрешноста околу 15 милиони степени. Такво е нашето Сонце. Од неговото формирање до денес поминале $\sim 4,5$ милијарди години.

Дека навистина ѕвездите, со тоа и нашето Сонце се раѓаат од големите комплекси на маглини потврдува состојбата со ѕвездите во маглината Орион (сл. 3). Таа е најпознат комплекс на гас и прашина.



Сл. 3.

Однадвор маглината е темна, но внатре има нови, "млади" ѕвезди. Веројатно во нашата Галаксија се наоѓаат ѕвезди што настанале од

истиот комплекс како и Сонцето кои се на "негова возраст".

2. Еволуција и крај на ѕвездите

Ф. Хојл предвидел детално сценарио за текот на ѕвездената еволуција. Во фазата на развој во која сега е Сонцето, ѕвездата не ги менува битно своите димензии и температура. Тоа траело се додека добар дел од водородот што ѕвездата го имала во внатрешноста се претвори во хелиум. Тогаш ѕвездата влегува во фаза на старост, има 10-15 милијарди години и настануваат драматични промени; ѕвездата нагло се проширува, температурата се смалува, сјајот се менува. Таа веќе не може да се вклопи во ѕвездите од главната низа на $H - R$ дијаграмот, туку претставува *црвен џин*.

Иако температурата е смалена, заради поголемата површина, ѕвездата зрачи поголемо количество енергија.

Кога ќе престане фузијата на водородните јадра во центарот на ѕвездата, зоната на реакции се пренесува кон надворешните слоеви сè до тогаш додека температурата падне под 10 милиони степени. Тогаш реакциите престануваат. Рамнотежата се нарушува, па заради гравитационото дејство, јадрото на ѕвездата богато со хелиум, се собира. Ова резултира со повторно зголемување на внатрешната температура (до неколку стотини милиони степени) и огромен притисок.

На овој степен од еволуцијата почнува нова фаза на фузиони реакции, хелиумот гори и од него се добива јаглерод, потоа кислород итн. сè до железо. Свездата како феникс се кренала од пепелта за да гори уште извесно време. Тоа се вика *хелиумов блесок* на ѕвездата кој може да трае до 50 милини години и го најавува нејзиниот крај. Потоа температурата пак паѓа, ѕвездата се зголемува стотина пати и таа е *црвен џин* или *суџерџин*. Кога Сонцето ќе постане црвен џин, ќе ги "проголта" Меркур и Венера, а можеби и Земјата.

Каков крај ќе доживее ѕвездата и колку ќе трае нејзиниот живот зависи од тоа колкава била нејзината маса (хелиумски блесок не може да настане кај сите ѕвезди).

Животот на големите ѕвезди е покус заради тоа што имаат повисока внатрешна

температура и со тоа нуклеарните реакции во внатрешноста се одвиваат побрзо. На пример, два пати повисока температура ги забрзува реакциите неколку десетини илјади пати. И покрај гравитацијата, огромниот поток енергија што се ослободува во средиштето на ѕвездата однесува и дел од нејзините периферни слоеви. Најмасивните познати ѕвезди се шеесетина пати поголеми од Сонцето и се чини дека тоа е горна граница; ако ѕвездата биде уште помасивна, таа веќе нема да биде стабилна.

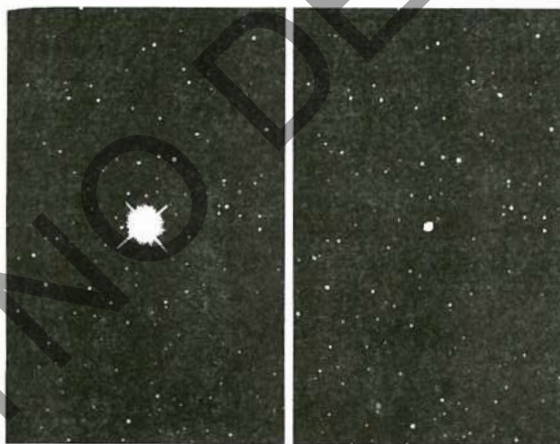
И обратно, ако ѕвездата има маса десетина пати помала од масата на Сонцето M_0 нејзиниот живот ќе биде многу подолг. Така, малата Барнардова ѕвезда веројатно ќе има долг живот до стотина милијарди години. Но, постои гранична вредност на масата на ѕвездата под која гравитацијата не може да достигне таква вредност за во внатрешноста да се создадат услови за започнување на термонуклеарните реакции. Ако масата на системот е помала од $1/20$ од Сончевата маса (педесет Јупитерови маси) нема да започнат фузиони реакции па таквиот систем ќе заврши како планета слична на Јупитер!

3. Свезди Нови и Супернови

Кај ѕвездите што имаат неколку пати поголема маса од Сонцето ($3-4 M_0$) во нивното средиште се создаваат услови за одвивање и на фузиони реакции на потешки јадра од јаглеродните. Таквите ѕвезди за неколку милијарди години (времето зависи од износот на нивната маса) веќе создале јадро што во најголем дел е составено од железо, потоа слоеви од силициум, јаглерод, хелиум и на крај обвивка од водород. Во слоевите се одвиваат соодветни фузиони реакции што ја даваат вкупната енергија што ја зрачи ѕвездата.

Но, таквиот систем е нестабилен и на поврх е крајот на ѕвездата. Гравитационите сили не се доволни да го држат системот јадро - обвивка па доаѓа до експлозивно одделување на обвивката и деловите од неа се шират на огромен простор во Вселената. Заради експлозијата, може да се случи таквата ѕвезда што дотогаш била невидлива од Земјата, да стане видлива.

Т. Брахе забележал ваква појава во 1572 год. во созвездието *Касиопеја*. Таа за неколку дена станала посјајна од Венера. Бидејќи му изгледало како да се раѓа нова ѕвезда, тој ја нарекол *Нова* (*Stela nova* -од латинскиот јазик). До денес се познати околу 360 *Нови*, повеќето се забележани во нашата галаксија, помалку во Андромеда и другите галаксии. На сл. 4 е прикажана истата ѕвезда; пред експлозијата (десно) и по експлозијата како Нова (сјајната ѕвезда лево).



Сл. 4.

Понекогаш, блесокот на таквата експлозија може да биде посилен од сјајот на целата Галаксија на која припаѓа. Така во 1885 год. во маглината Андромеда регистрирана била експлозија на ѕвезда што била 100.000 пати посилен од Нова. Тоа е таа ѕвезда *Сујернова* (SN).

Битен услов за експлозија на *Сујернова* е ѕвездата да има јадро составено од елементи потешки од силициумот. Во тој колосален блесок на *Сујернова* се создаваат елементи потешки од железото, експлозијата ги расејува во Космосот. Потоа тие можат да бидат зафатени од системи во создавање и така да бидат присутни во нивниот состав (на пример, тешките елементи на Земјата).

Експлозијата на *Сујернова* во 1054 год. во маглината Краб била забележана од повеќе народи (за жал Европејците тоа не го сториле па нема записи). Од Земјата можела да се

набљудува полни три месеци. Била видлива дури и дење, веројатно ноќе би можело да се чита при нејзината светлост. На сл. 5 е прикажано она што останало (денес) по таа експлозија.



Сл. 5.

Ако случајно експлодира Супернова на растојание од 32,6 светлосни години од нас (10 парсеци), сјајот би бил 1500 пати поголем од сјајот на полната Месечина. Како тоа би се одразило на животот на Земјата може само да се претпоставува.

Во 1987 год. се случи експлозија на Супернова во Големият Магеланов облак. Тоа беше добра прилика да се извршат најразлични испитувања и мерења со што се здобија драгоцен податоци не само за самата звезда, туку за процесите при такви експлозии, зрачењата, неутринскиот флукс и многу други појави. Големите светски опсерватории подолго време ги вршеа тие испитувања.

Бели џуџиња. Крајот на ѕвездата зависи од нејзината маса. Ако ѕвездата е помала од $1,4M_0$ (Сончеви маси), величина што се вика Чандрасекаров лимит, кога таа го потроши поголемиот дел од нуклеарното гориво, започнува да се лади, заради гравитационата контракција се собира, се збива на мал волумен и

густината може да достигне до 100 тони во 1cm^3 . Во почетокот таквиот систем ќе има бела боја, потоа ладејќи се, ќе добие црвена и на крај нема да се гледа. Астрономите им дале име *бело џуџе*.

Типичните бели џуџиња имаат $2/3$ од сончевата маса стисната во волумен колку земјиниот. Се разбира, белите џуџиња нема веднаш да престанат да зрачат, туку процесот на "гаснење" трае неколку милијарди години сè додека температурата падне на просечната температура на Вселената.

Она што ќе остане од Сонцето и ѕвездите слични на него ќе биде бело џуџе кое со ладење ќе стане *црно џуџе*. Покрај Сириус (најсјајната ѕвезда на небото со привидна големина $-1,4^m$, оддалечена од нас 9 светлосни години) има мала ѕвезда, Сириус В, која е првото *режисерирано бело џуџе*. Се смета дека скоро 10% од сите ѕвезди во нашата галаксија се бели џуџиња.

Неутронски ѕвезди и пулсари. Ако масата на ѕвездата е $1,5-3M_0$ (истото важи и за јадрото што останало по експлозијата на Супернова), гравитационата контракција е толку голема што добар дел од електроните и протоните се принудени да се спојат и да образуваат неутрони. Тоа е *неутронска ѕвезда* чија густина има фантастичен износ, скоро 10^{15} пати поголема од густината на обичната материја. Тоа е најгустото пакување на материјата ако воопшто и натаму може да се зборува за материја каква што ја знаеме.

Дијаметарот на *неутронските ѕвезди* не надминува 10-30 km (може да биде и помал од 1 km). Тие имаат силно магнетско поле кое има особена улога. При *роирацијата* се исфрлаат електрони кои што се движат по силовите линии на неверојатно силно магнетско поле. Неутронските ѕвезди зрачат импулси во микробрановото подрачје и можат да се откријат според тоа зрачење. Можно е зрачење и во видливата област и при секоја ротација би се видел блесок. Ѕвездите што имаат вакви особини се викаат *пулсари*. Нивниот период на ротација е толку точен, поточен од обичните часовници.

Во маглината Рак е откриен пулсар (неутронска ѕвезда) чиј дијаметар е ~ 25 km, и

ротира триесет пати во секунда! Неговата маса е ред на големина како масата на Сонцето!

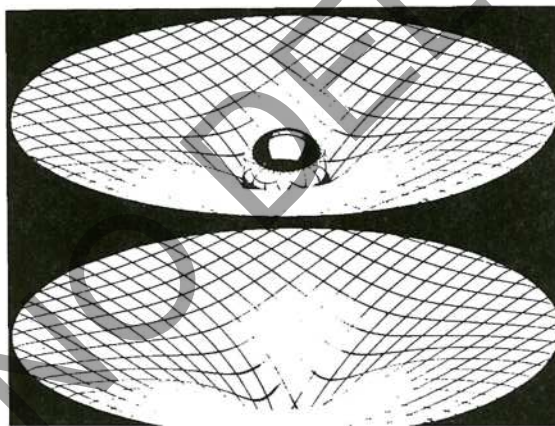
Првиот пулсирачки радиоизвор (пулсар) е откриен во 1967 година. Кусите, строго периодични импулси што тој ги емитира личеле на сигнали од Морзеовата азбука па откритието веднаш било ставено како строга тајна затоа што се претпоставило дека тоа се сигнали од вонземска цивилизација. Непознатото извор бил наречен LGM (Little green man-мали зелени човечиња). Ете од каде доаѓа називот за вонземјаните! Но, кога беа откриени и други такви извори (до денес околу 500), отпадна хипотезата за умните вонземјани што ни испраќаат сигнали за своето присуство.

За откривање на пулсарите Е. Хјуиш доби Нобелова награда во 1974 год, а во 1993 год. исто така е доделена Нобелова награда за физика, на Р. Халс и Џ. Тејлор за откритие на двоен пулсар PSR 1913+16.

Црни јами. Најдраматичен крај имаат ѕвездите чија маса е поголема од три сончеви маси ($3M_0$). Тогаш *гравитациониот колапс* е толку силен што не е стабилен ни стадиумот на неутронски ѕвезди, туку контракцијата продолжува и натаму сè до збивање во многу мал волумен ("*скоро еднаков на нула*"). Гравитацијата на овој систем е толку голема што ни тело, ни светлина не може да го напушти, "просторот се затворил во себе". Тоа се *црни јами* кои што општата теорија на релативност на Ајнштајн ги предвидува. Според теоријата, определени се критичните размери кога од небескиот објект може да настане црна јама (Шварцшилдов радиус). Сферната површина со овој радиус се вика *хоризонт на настани*, а над него се наоѓа т.н. *ерџосфера* каде просторот и времето се силно деформирани и се привлекуваат со ротацијата на црната јама.

Црна јама скоро е невозможно да се регистрира, туку може да се набљудува просторот околу неа каде што блиските објекти се забрзуваат до толкав степен што се емитираат кванти со високи енергии. Има индикации за нивно постоење во системите на двојни ѕвезди (во созвездието Лебед од каде е детектирано силно зрачење во *рендгенската област*). Од нив не потекнува никаква информација, никаков знак, сè што е во близина едноставно јамата го "голта".

Современите теории предвидуваат дека материјата во *црните јами* може да биде збиена во една точка со бесконечно голема густина и бесконечна гравитација. Оваа состојба се означува како *проспирно временски сингуларитет*. Според С. Хокинг, водечки физичар во оваа област, во таков случај престануваат да важат физичките закони онакви какви што ги знаеме.



Сл. 6.

Со црните јами се поврзани многу сложени феномени кои засега се во доменот на теоријата (а некои во фантазијата). Заради огромната гравитација, според теоријата на релативноста, околу црните јами просторот треба да биде закривен (сл. 6). Влегувањето во таков систем би значело влегување во некој друг дел на *проспирно временскиот континуум*. Кажано поинаку, црна јама што ротира би ги одвела во некоја друга Вселена сите објекти што ќе влезат во неа. Меѓу сите такви Вселени, црните јами би биле единствената врска.

Ваквите заклучоци не се само плод на научната фантастика туку на сериозни научни теории. Размислувањата одат до таму да се изнајде начин како да се искористи големата енергија од ротацијата на овие објекти. Кога би можела да се створи вештачка малечка црна јама (да се "стисне" материјата како што е тоа во црните јами), би биле решени сите потреби за енергија на човештвото.

Овде треба да истакнеме дека проблемите кои што се разгледани погоре во врска со еволуцијата на ѕвездите како и другите од по-

широката област се прикажани во општи црти. Тие сѐ уште не се доволно проучени и уточнети, за многу прашања не постојат задоволителни одговори, но тие се бараат од науката.



Ентони Хјуиш (1924–) англиски радио-астроном. Завршил физика во Кембриџ и таму бил професор. Нобелова награда добил во 1974 год. заедно со сер Мартин Рајл.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Каков е составот на меѓусвездената материја и гас?
2. Кои величини ги поврзува Херцшпрунг-Раселовиот дијаграм? Наброј некои ѕвезди се наоѓаат на главната низа на дијаграмот.
3. Која е најпозната маглина чие набљудување дало сознанија за еволуцијата на ѕвездите?
4. Што е хелиумов блесок на ѕвездата и што претскажува тој?
5. Зошто Барнардовата ѕвезда (и ѕвезди слични на неа) ќе има многу долг живот, над стотина милијарди години?
6. Кои ѕвезди се Нови, а кои Супернови?
7. Поетски настроените научници знаат да речат дека ние сме деца на ѕвездите! Размислете дали има вистина во тоа?
8. Што е тоа Чандрасекаров лимит?
9. Температурата на една од најсјајните ѕвезди на небото Капела (од соѕвездието Колар) е 5.200 K. Сјајот што го дава на земјаната површина е $1.2 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2$. Растојанието до неа е $4,3 \cdot 10^{17} \text{ m}$. Колкав е радиусот на ѕвездата? Што може да се каже за местото на Капела на Херцшпрунг - Раселовиот дијаграм?

$$R = \sqrt{L / 4\pi\sigma T^4} = 2 \cdot 10^9 \text{ m}$$

10. Споменатиот пулсар во маглината Рак има период $T=0,033\text{s}$, да се оцени колкава е густината на материјата во него?

Одговор: Нека аголната брзина на пулсарот е

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \text{ а централното забрзување во екваторијалната област ќе биде } \omega^2 R \text{ каде што } R \text{ е радиусот на пулсарот. Ако масата на пулсарот е } M, \text{ гравитационото забрзување во таа област ќе биде: } \gamma \frac{M}{R^2}. \text{ За да не се разлети материјата на пулсарот во околниот простор, треба да биде исполнето: } \gamma \frac{M}{R^2} > \omega^2 R. \text{ Ако се има предвид дека густината на таква структура во принцип е: } \rho = \frac{M}{R^3}, \text{ се добива дека } \rho > 610^{14} \text{ kg/m}^3.$$

Оваа густина е скоро милион пати поголема од онаа на белите џуџиња а е од ред на густината на атомските јадра. Ваква густина можат да имаат само неутронските ѕвезди.

11. Дали сте се запрашале зошто ноќе небото е темно? Ова прашање не е така глупаво како што може да се помисли! Ако Вселената е бескрајна и ѕвездите се рамномерно распоредени, не би требало небото да е темно, туку напротив, од било која насока би доаѓала светлост од милијарди ѕвезди, небото би требало да биде рамномерно осветлено како и дење.

Овој проблем е основа на тнр. *Олберсов парадокс*, според името на германскиот лекар и астроном кој прв го поставил ова прашање. Размислете малку повеќе имајќи предвид дека Вселената не постоела вечно, не е бескрајна и според Хабл, се шири!!



За оние кои сакаат да се запознаат со најновите достигнувања во областа на астрономијата и астрофизиката, ги препорачуваме овие сајтови:

<http://www.astronomynow.com>
<http://www.physlink.com>
<http://science.nasa.gov/news>
<http://antwrp.gsfc.gov/apod/astropix.html>
<http://www.xs4all.nl/~carlkop/astroeng.html>

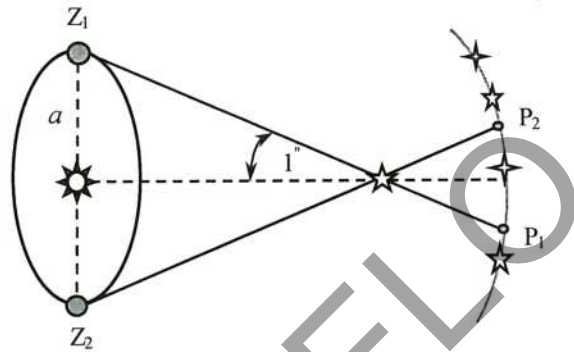
3.19. ОДРЕДУВАЊЕ НА КАРАКТЕРИСТИЧНИТЕ ВЕЛИЧИНИ НА НЕБЕСКИТЕ ОБЈЕКТИ

Растојанијата меѓу небеските објекти се толку големи што не е згодно да се прикажуваат на вообичаен начин како растојанијата на Земјата. Се користат овие единици:

- **астрономска единица 1 AU** - таа е еднаква на средното растојание од Земјата до Сонцето, 150 милиони километри ($1,5 \cdot 10^{11}$ m). Обично се користи за прикажување на растојанијата меѓу објектите во Сончевиот систем

- **светлосна година (ly)** тоа е растојание што светлината би го поминала за една година простирајќи се со брзина 300.000 km/s. Треба да се обрне внимание на фактот што овде терминот "година" се употребува за мерење на растојание. Поради огромните растојанија меѓу небеските објекти за кои информација носи светлината, ние, гледајќи во даден објект, всушност го гледаме него во минато време (а не како изгледа сега), толку колку требало на светлината да го премине тоа растојание. Така, нашите набљудувања на оддалечените галаксии се однесуваат на тоа како тие изгледале пред стотици милиони, понекогаш и милијарди години (зависи на која оддалеченост се од нас).

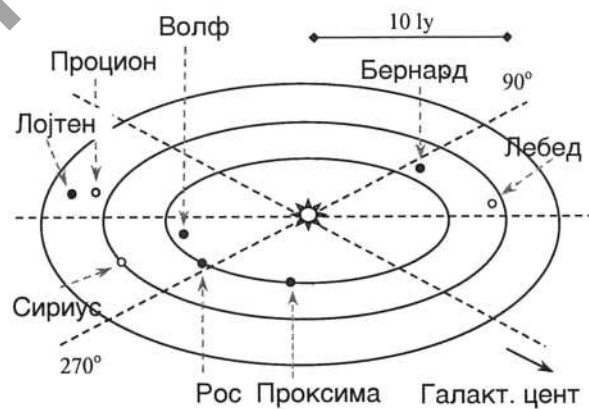
- **парсек (паралакс секунда, се бележи ps).** Оваа единица се дефинира со појавата на свездена паралакса. Тоа е појава на привидна промена на положбата на набљудуваната звезда на небото заради земјиното кружење околу Сонцето. Нека една звезда S што се наоѓа на растојание r се набљудува од Земјата Z (сл. 1) и тоа кога Земјата е на спротивните точки од својата револуција околу Сонцето (пр. во јули Z_1 и декември Z_2). Положбата на звездата на небото е изменета (P_1 и P_2), а тоа се гледа во однос на многу далечни ѕвезди кои практично имаат занемарливо мала паралакса па може да се сметаат како "неподвижни". Еден парсек е растојание од кое радиусот на земјината орбита околу Сонцето би се гледал под агол од $1''$ (лачна секунда).



Сл. 1.

Многу оддалечените небески објекти ќе имаат мала паралакса па може да се користи и килопарсек (kps) и мегапарсек (Mps). Најголема паралакса (најмало растојание) има ѕвездата Проксима - Центаур (Проксима - блиска) во износ од $0,76''$ растојанието од Земјата е 1,3 ps.

$$1 \text{ ps} = 3 \cdot 10^{13} \text{ km} = 3,26 \text{ светлосни години}$$



Сл. 2.

На сл. 2 прикажана е оддалеченоста на најблиските ѕвезди од Сонцето. Имено, на растојание од 4 парсеци (околу 13 светлосни години) се наоѓаат околу 25 ѕвезди но само неколку од нив се гледаат со голо око (Сириус, Проксима, Лебед 61), а другите се гледаат само со телескопи: Ѕвездата на Лојтен, Рос, Волф, ε-Еридан, Бернард, Сруве 2398, Лакајл итн.

Привидна и апсолутна големина на ѕвездите

Со голо око тешко може да се одреди која ѕвезда зрачи поголем светлосен флукс (има поголем сјај) затоа што ѕвездите се наоѓаат на многу различни оддалечености од нас. Затоа наместо флуксот, се одредува *привидната големина* (**магнитуда m**) на ѕвездата. Оваа величина нема врска со димензиите на ѕвездата туку се однесува на нејзиниот сјај онака како што се гледа или регистрира од Земјата. Се разбира, привидната големина зависи од растојанието на кое се наоѓа ѕвездата. Така може да се случи некоја мала и поладна ѕвезда што е доста блиску до нас да има знатно поголема привидна големина (привиден сјај) во однос на некои гигантски усвитени ѕвезди што се наоѓаат на огромни растојанија.

Најголемиот старогрчки астроном Хипарх (2 век п.н.е) според привидниот сјај ги поделил ѕвездите на шест класи; најсјајните се во I класа, а во VI класа се ѕвездите кои одвај се гледаат со голо око. Се означуваат со $1^m, 2^m, 3^m, 4^m \dots$ итн. што значи ѕвезди од прва, втора, третата, четврта класа (**магнитуда**). Но, на небескиот свод има објекти со поголем сјај од ѕвездите од прва магнитуда, па е дефиниран сјај на ѕвезда од нулта (0^m) магнитуда. Таа на границата на Земјината атмосфера би дала осветленост $E = 2,78 \cdot 10^{-8} \text{ lx}$ (лукси). Оние објекти кои имат поголем сјај, имаат магнитуда со знак минус, на пример: Сириус има привидна големина $-1,4^m$, Јупитер -3^m , Венера $-4,4^m$, Месечината $-12,7^m$, Сонцето $-26,8^m$. Од блиските ѕвезди со слаб сјај да ја спомнеме Волф-359 со привидна големина $+13,5^m$, потоа Северница $+2^m$ Алдебаран $+1,1$, Антарес $+1,2^m$, Капела $+0,2^m$.

На предлог на Ј. Баер (1603 год) во астрономијата е договорено најсјајната ѕвезда од некое соѕвездие да се бележи со грчката буква α , втората ѕвезда по сјајност со β итн. (во интерес на вистината има исклучоци од овој договор). На пример, во зимските месеци најлесно се препознава соѕвездието Орион кое се наоѓа високо на јужниот дел од небото. Во неправилна четиристрана фигура, покрај другите, се наоѓаат три сјајни ѕвезди. Најсјајната ѕвезда во Орион се бележи со α -Орион (ѕвездата Бетелгез), втората е β -Орион (Ригел),

итн. Привидната големина на ѕвездата m е сврзана со осветленоста E што таа ја дава на површина што стои нормално на насоката на гледање:

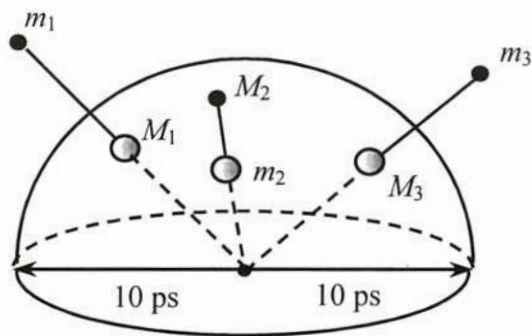
$$m = -2,5 \log E + \text{const} \quad (1)$$

Знакот минус на десната страна покажува дека ѕвезда што има поголем сјај и дава поголема осветленост врз површината на детекторот (око, фотоплоча или фотоселектричен детектор), има помала привидна големина.

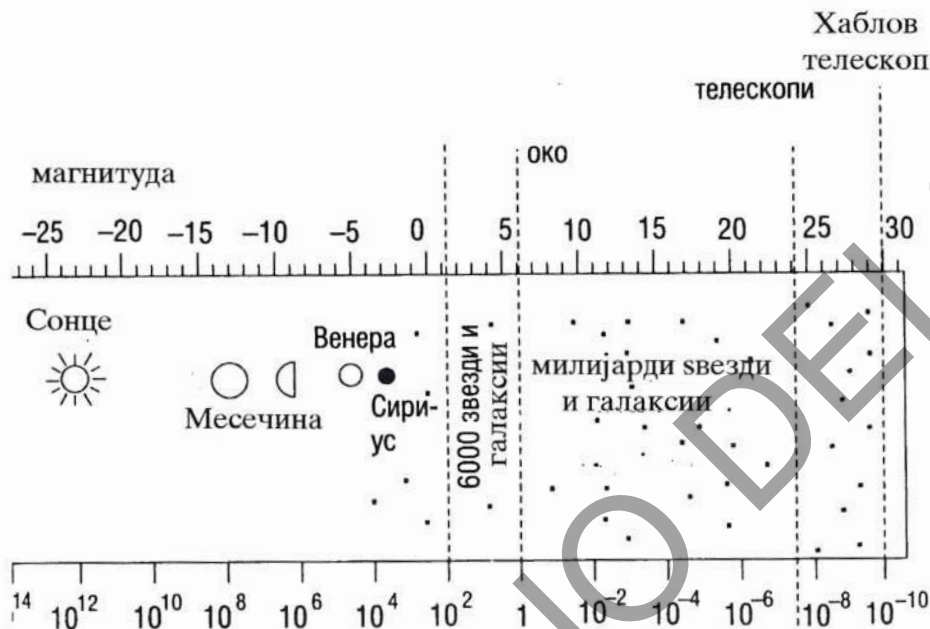
Ако две ѕвезди со привидни големини m_1 и m_2 даваат осветленост E_1 и E_2 , тогаш врската е дадена со формулата што ја утврди англискиот астроном *Н. Појсон* (1856):

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \frac{E_1}{E_2} \quad (2)$$

Привидната големина m на ѕвездите што се регистрира со било кој детектор не е добар "стандард" што би дал веродостојни податоци за оддалеченоста на ѕвездите. За да може да се спореди сјајот на ѕвезди кои се наоѓаат на различни растојанија, се дефинира **апсолутна големина (магнитуда)** на ѕвездите M . Тоа е оној сјај што ѕвездата би го дала ако се најде на оддалеченост од 10 ps (парсека) или 32,6 светлосни години. Во тој случај ситуацијата битно се менува (сл.3). Многу ѕвезди кои одвај се забележувале заради огромната оддалеченост (m_1, m_3) кога би се нашле на само 10 ps, по апсолутна големина кк се најдат пред Сонцето (m_2) кое на таа иста оддалеченост од десет парсека би било ѕвезда која одвај се гледа.



Сл. 3.



Сл. 4.

Врската меѓу апсолутната M и привидната големина m е:

$$M = m + 5 - 5 \log r \quad (3)$$

каде што r треба да биде во парсеци. За таа цел со астрономските набљудувања се одредува паралаксата на ѕвездата со што се знае растојанието изразено во парсеци.

Привидната големина се одредува со доволна точност од астрономските мерења. Од горната релација се пресметува апсолутната големина M на ѕвездата. Се разбира, за многу оддалечените ѕвезди не е едноставно да се извршат точни мерења и апсолутната големина да се одреди со доволна точност.

Определувањето на пречникот на ѕвездите може да се направи на различни начини. На пример, за Сонцето, најблиската ѕвезда, тоа се прави со мерење на аголниот радиус и растојанието-паралакса. За релативно блиски ѕвезди се користи стеларен интерферометар. Оваа метода, применета на 30-тина најблиски ѕвезди дава добри вредности (аголен пречник од $0'',047-0'',0007$). За сите ѕвезди е применлив методот што се заснова на мерење на оддалеченоста и сјајот (осветленоста) како што е прикажано со формулата на Погсон.

На сл. 4 е прикажана скала со видните ѕвездени величини. На најдоланата апсцисна оска е прикажан интензитетот на небески објекти спореден со границата на осетливост на голо око.

Бидејќи луминозност L на некоја ѕвезда е определена од енергијата што се зрачи од нејзината површина:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad (4)$$

$$E = \frac{L}{4\pi R^2} = 10^{-0,4m-5,67} \quad (5)$$

тогаш може да се пресмета ѕвездениот радиус R ако е определена температурата на фотосферата T . Имајќи ја предвид дефиницијата за апсолутна ѕвездена големина M , радиусот може да се определи со формулата:

$$\log R = -0,2M - 2 \log T + 8,46 \quad (6)$$

Како илустрација, пречникот на сјајната ѕвезда Бетелгез (соѕвездие Орион) е околу 850 пати поголем од пречникот на Сонцето.

Со методот на годишна паралакса, во најдобар случај, можат да се одредат оддале-

чености на ѕвездите не поголеми од 1.000 ps што претставува само 1/30 од дијаметарот на нашата галаксија. Определувањето на поголеми растојанија се врши по индиректни методи. Еден од нив е методот на *зависност период-сјај* (PL-зависност). Таа појава е поврзана со посебна класа на ѕвезди коио периодично го менуваат сјајот и затоа се викаат *променливи ѕвезди*. Најпознати се т.н. *цефеиди* што го носат името според ѕвездата δ -Цефеј. Промената на нивниот сјај се должи на промени во нивната внатрешна структура, што има за последица периодични пулсации на фотосферата. Бидејќи цефеидите се ѕвезди-гиганти со голем сјај што се гледа далеку, со нивна помош се определуваат растојанија на небески објекти не само во нашата, туку и во другите галаксии.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како се дефинирани единиците за одредување на растојанието меѓу небеските објекти: астрономска единица, светлосна година, парсек?

2. Кои се најблиските ѕвезди до Сонцето (на растојание до 13 светлосни години)?

3. Каква е првата класификација на ѕвездите што ја направил Хипарх?

4. Со Погсоновата формула може да се пресмета големината на една ѕвезда. Објасни како се прави тоа?

5. Како се дефинира апсолутната магнитуда на една ѕвезда?

6. Пречникот на сјајната ѕвезда Бетелгез е 850 пати поголем од пречникот на Сонцето. Како е тоа одредено?

7. Што се подразбира под поимот луминозитет на ѕвездите?

8. Колкав е односот на осветленоста врз земјината површина што ја даваат Сонцето и полната Месечина?

Дадени се: привидната големина на Сонцето $m_1 = -26^m,8$ и на Месечината $m_2 = -12^m,7$

(Одговор: $E_1/E_2 = 440.000$. Толку пати Сонцето "посилно" ја осветлува Земјата).

9. Колкав е сјајот на најблиската ѕвезда Сириус?

Дадено е: неговата привидна магнитуда $m = -1^m,6$, а растојанието до Сонцето е $d = 2,64 \text{ ps}$. (Одговор: Првин најди ја $M = +1^m,4$ а потоа сјајот (луминозитетот) $L = 10^{1,36} L_s = 23 L_s$ (23 пати поголем од сончевиот).

10. Годишната паралакса на ѕвездата Вега (од соѕвездието Лира) изнесува $0,133''$. Определи го растојанието до неа?



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈАТА ВО СВЕЗДИТЕ

Огромната енергија што ја зрачат ѕвездите (како нашето Сонце) претставувала загатка долго време. Порано се претпоставувало дека тоа е *гравитациона енергија* што се ослободува при постепената контракција на ѕвездената материја. Х. Хелмхолц во 1861 год. ја проучил оваа хипотеза и констатирал дека при постојано губење енергија на таков начин, нашето Сонце би траело само 10 милиони години. Од други податоци со сигурност е утврдена возраста на Сонцето, околу 4,5 милијарди години. Значи, хипотезата за гравитациона енергија не била реална.

А. Едингтон во 1920 год. прв ја искажал претпоставката дека енергијата во ѕвездите се создава преку **термонуклеарни реакции** во нивната внатрешност при кои настанува синтеза на водородот во хелиум. По скоро две децении, Х.Бете и К.Вајцекер, независно еден од друг, ги разработиле поединостите на овие реакции, начинот и условите при кои се одвиваат. Ѕвездата е динамички систем што се состои од огромен број честици: електрони, јони, протони, јадра, атоми, но и сите видови зрачења итн. Средната температура на ѕвездата зависи од нејзината големина и состав. Распределбата на температурата на ѕвездата зависи од механизмот на пренос на енергијата од внатрешноста каде температурата е неколку милиони степени, до површината каде температурата е неколку илјади (до неколку десетини илјади) степени.

На различни етапи од еволутивниот развој на ѕвездите можни се различни циклуси на термонуклеарни реакции. На денешниот степен на развој на Сонцето и ѕвездите слични на него, главни циклуси се:

-*протон протонскиот (p p) и*
-*јаглерод -азот -кислород циклус.*

Овие циклуси имаат свои варијанти во зависност од условите што владеат во внатрешноста на ѕвездата (притисок, температура, процентен состав итн.) но ние ќе опишеме најкарактеристичен модел.

Протон - протонски циклус

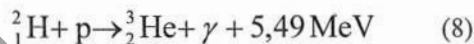
Реакциите од овој циклус се карактеристични за температури во внатрешноста на ѕвездите од околу 15 милиони степени и густина на водородот $\rho \approx 100 \text{ g/cm}^3$. Главните реакции се одвиваат многу бавно. Така, за да согори 1g водород и да се претвори во хелиум, потребни се неколку милиони години. Но, масата на ѕвездите е огромна, а со тоа и количеството водород што стои на располагање за реакциите.

Циклусот започнува со реакцијата на две водородни јадра (два протони) која иако со мала веројатност, сепак се случува. При тоа се добива деутерон, позитрон e^+ и неутрино ν , се ослободува и енергија:



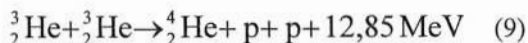
Добиените позитрони веднаш се анхилираат при средба со електрони, а неутринскиот флуks во износ $\sim 10^9$ неутрина во секунда на 1 cm^2 однесува дел од енергијата на реакцијата.

Добиениот деутерон од горната реакција веднаш се врзува со нов протон при што се добива јадро на ${}^3\text{He}$ и γ -квант со голема енергија:



Реакцијата се одвива само за неколку секунди.

Натаму циклусот се одвива на овој начин (најверојатен):



при што се добива јадро на хелиум-4 и два протони. Реакцијата дава големо количество на енергија. Времето на одвивање на ваквите реакции е доста долго. Вкупната енергија што се добива од овие процеси зависи од динамиката на нивното одвивање, таа пак во прв ред е зависна од температурата. Со опаѓање на температурата (ако реакциите се одвиваат подалеку од јадрото на ѕвездата) продуктивноста на протон -протонскиот циклус опаѓа. Обратно, со пораст на температурата, продуктивноста расте, првин брзо, потоа многу полека.

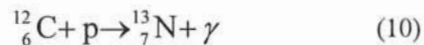
Протон протонскиот циклус е доминантен во внатрешноста на Сонцето. За сето време досега се смета дека само 12% од водородот се претворил во хелиум.

Горе опишаниот тек е најверојатен, иако циклусот може да се одвива и поинаку преку формирање на берилиум и литиум. Конечно пак се добиваат хелиумови јадра.

Јаглеродно - азотен циклус

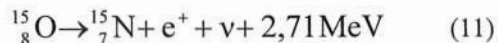
Овој циклус се одвива во масивни ѕвезди, поголеми од Сонцето (на пример Сириус кој има маса скоро два пати поголема од сончевата) на температури над 12 милиони степени и неговото учество е значително како што расте температурата. Процесот на формирање хелиум овде оди посредно. Во него учествуваат и јадра на јаглерод, азот и кислород, затоа се вика CNO или Бетеов циклус.

Најпрвин, јадрото на јаглерод-12 зафаќа протон и при тоа се добива нестабилно јадро на азот -13 и γ -квант:

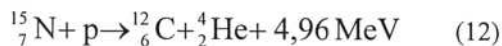


Ваквите реакции имаат мала веројатност, но сепак се одвиваат.

Добиениот азот -13 брзо се распаѓа и се добива изотоп јаглерод-13 кој зафаќа протон и се добива јадро на азот-14 (се разбира и гама зрачење). Ова јадро од своја страна зафаќа протон и се добива кислород-15 кој е нестабилен и за само неколку десетини секунди се распаѓа:



Добиениот азот-15 го зафаќа четвртиот протон:



Се добива јаглерод -12 со кого започна циклусот и хелиумово јадро од четирите протони. Јадрата на јаглеродот, азотот и кислородот како да беа само "домаќини", а јаглеродот-12 игра улога на "катализатор" на реакцијата при која се ослободуваат 25,03 MeV енергија.

Трансформација на хелиумот во ѕвездите

Постојат ѕвезди во чие средиште владеат многу повисоки температури (до 100 милиони степени) од оние кои досега ги спомнавме. При такви температури ефективни стануваат и други термојадрени реакции, но тие заради скромниот енергетски придонес не претставуваат значителен извор на ѕвездената енергија.

Така на пример, можно е за сосема кратко време да се создаде нестабилно јадро на берилиум-8 од две хелиумови јадра:



при што е најверојатно дека јадрото берилиум-8 ќе се распадне пак на две хелиумови јадра. Но постои одредена веројатност тоа јадро да зафати уште едно хелиумово јадро и да формира јадро на јаглерод -12 во возбудена состојба:



кое што преминува во основна состојба со емисија на интензивно γ -зрачење.

Ако на било каков начин во ѕвездите се создаде јаглерод, од него понатаму се добиваат потешките, посложените атоми на кислород, неон итн. Така се создаваат слоеви во ѕвездата. Од неонот може да се добие магнезиум и сè така до фаза кога се создаваат атоми на железо.

Неутрината што настануваат во реакциите кои се одвиваат во внатрешноста на ѕвездата без пречки проаѓаат и брзо стигнуваат до површината на ѕвездата за тоа што тие не дејствуват заемно со материјата на ѕвездата. Очигледно, единствено тие носат "информации" за процесите во внатрешноста.

Согледувајќи го тоа, физичарите пред дваесетина години се зафатија со проблемот на детекција на сончевите неутрина за да може да се добијат информации за состојбата на материјата и процесите во внатрешноста на Сонцето. Но, детектираниот флукс на Сончеви неутрина е помал од оној што го предвидува теоријата со реакциите што ги проучивме. Дали тоа значи дека теоријата за нуклеосинтеза во внатрешноста на Сонцето не е точна? Можеби тоа не е во прашање, но сепак овој проблем мора да има особено значење па затоа е еден од најактуелните во современата физика.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. На каков начин се добива енергијата во ѕвездите?
2. Кои се најпознати циклуси на реакции во ѕвездите?
3. Со нуклеосинтезата се создаваат потешките елементи во внатрешноста на ѕвездите, но не сите. Каде завршува тој процес?
4. Кои честици, создадени во внатрешноста на ѕвездите можат да ја напуштат ѕвездата и да стигнат до огромни далечини без да бидат зафатени? Какви информации можат да донесат?
5. Да се пресмета колку време може да свети нашето Сонце за сметка на термојадрените реакции што се одвиваат во неговата внатрешност?

Дадено е: луминозитет $L=3,9 \cdot 10^{26} \text{ W}$, средна густина $\rho=1400 \text{ Kg/m}^3$, маса $M=2 \cdot 10^{30} \text{ Kg}$. При синтеза на едно јадро ^4He се добива $B=27 \text{ MeV}=4,33 \cdot 10^{-12} \text{ J}$. Да се смета дека во циклусот само 10% од водородот се претвара во ^4He . Масата на протонот е $m_p=1,67 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$.

(Одговор: Сметаме дека Сонцето се состои само од водород, па се наоѓа вкупниот број на протони $N_p=0,1 M/m_p=1,2 \cdot 10^{56}$. Вкупната енергија што би се добила е $\Delta E=B N_p/4=1,3 \cdot 10^{44} \text{ J}$. Времето на живот е $t=\Delta E/L=3,25 \cdot 10^{17} \text{ s}$ (10^{10} год).

3.20. ИНТЕРСТЕЛАЕН ПРОСТОР. МЕЃУСВЕЗДЕНА МАТЕРИЈА

Што има во огромниот меѓусвезден простор, дали тој е празен? Во него делуваат *гравитациониото и магнетското поле*, но дали тоа е сè? Не баш; во него има меѓусвезден а материја составена од:

-*гасно-честични облаци* што покрај водород содржат прашина и прости молекули (вклучувајќи и органски).

-*меѓусвездена прашина*, и

-*гас* што се состои од неутрален и/или јонизиран водород чија густина е неверојатно мала, просечно $\approx 10^{-24} \text{ kg/m}^3$, скоро вакуум кој не може да се достигне во земјини услови. Присуството на *неутралниот атом на водородот* во интерстеларниот простор е откриено дури во 1951 год. според негово карактеристично зрачење со бранова должина од 21,1 cm (*лесна на водородот*) што беше можно да се регистрира со развојот на радиоастрономијата.

Поради огромните димензии на просторот во кој е сместена оваа меѓусвездена материја, се мисли дека таа чини блиску 5-10% од вкупната маса во галаксиите.

Меѓусвездениот гас и прашина се најгусти околу екваторијалната рамнина на нашата галактика и во областите што се наречени *маглини*. Овие маглини можат да бидат *дифузни и планетарни*.



Сл. 1.

Ако дифузната маглина е во близина на некоја топла звезда, таа е *свешла*, а нејзините составни честички претежно се јонизирани. Таков пример е Големата Орионова маглина (сл. 1) која што обвиткува голема група ѕвезди.

Маглините што се состојат само од прашина се *темни*. Нивното присуство се докажува според апсорпциони спектри и се чини како таа област да нема ѕвезди.

Планетарниите маглини се во елиптична или сплескана форма. Тие личат на планети, затоа го добиле и името. Но, температурата на гасот во нив е така голема што може да достигне до 10.000 K. Подрачјето што го зафаќа јонизираниот гас е дефинирано (до 10 ps). Една од планетарните маглини прикажана е на сл. 2.



Сл. 2.

Присуството на меѓусвездениот гас и прашина треба да се има предвид при набљудување на одредени ѕвезди, затоа што со тоа се поместува спектарот на спектралните линии кон црвено и ја намалува сјајноста на ѕвездата. Затоа, се внесува корекција при добивањето на температурата на ѕвездата според Виновиот закон.

Космичко зрачење

Од космичкото пространство во Земјината атмосфера стигнува флуks честици со огромна енергија кои предизвикуваат бројни нуклеарни реакции и претворби. Тоа се

примарни космички зраци што имаат многу голема продорност па можат да поминат низ слој вода до 1.000 m. Се смета дека нивната енергија е до 10^{10} eV, а некои честици од флуксот имаат и многу поголема енергија.

Констатирано е дека составот на примарниот космички флукс е: протони 77,5%, хелиумови јадра 20%, јадра на литиум, берилиум, бор и други 1%, јадра на јаглерод, азот, кислород 1%, траги на останати јадра со атомски број $9 < Z < 28$.

Поради огромната енергија што ја имаат честичите од снопот, а особено протоните, јадрата со кои се судираат се разбиваат на поголем број честици што исто така имаат голема енергија. Тие ги претставуваат *секундарниите космички зраци* што најчесто се позитрони, μ -мезони, π -мезони, K-мезони, хиперони и тн. Впрочем, позитроните, мионите и пионите најпрвин се регистрирани во космичките зраци.

Проблемите сврзани со космичкото зрачење се сложени. Каде постанува и од каде доаѓа? Се смета дека примарниот космички флукс е последица на нуклеарни процеси во нашата галаксија. Во големите ѕвездени маси, во плазмата, се создаваат турбуленции што како последица имаат појава на огромни магнетски полиња кои ги забрзуваат честичите и тие се разлетуваат во космичкото пространство. Особена активност покажуваат ѕвездите *Супернови* при нивните гигантски експлозии.

Аристарх (3 век п.н.е), александриски астроном, бил првиот кој со набљудувања на небеските појави и пресметки дошол до сознание дека Сонцето е барем 312 пати поголемо од Земјата и е оддалечено околу 770 земјини пречници. Затоа, тој го поставил Сонцето во средината на Вселената, а Земјата и сите други планети обиколуваат околу него. Но, неговото учење не било прифатено, особено од Црквата во чие учење долго време се задржал ставот дека Земјата е центар на Вселената.

3.21. ВО СВЕТОТ НА ГАЛАКСИИТЕ

Дали Вселената, со сите галаксии и небески тела во нив е ваква отсекогаш? Дали таа на некој начин се менува, има своја еволуција? Дали постојат и други населени светови? Ваквите прашања имаат своја смисла затоа што човекот отсекогаш сакал да ги одгатне тајните на светот што го опкружува. Структурата на Вселената и нејзината еволуција се предмет на посебна научна дисциплина, *космологија*.

Јасно е дека сложеноста на Вселената не може да се сфати и објасни комплетно, туку само преку некои проучени појави можат (колку-толку) да се разберат нејзината структура и постоење. Обичните претстави од секојдневниот живот не можат да послужат за тоа, туку успех имаат математички теории кои на прв поглед се необични, но добро се согласуваат со експерименталните набљудувања. Космолозите најмногу се користат со *Ајнштајновата општа теорија на релативност* која се занимава со гравитацијата, просторот и времето.

Постојат две карактеристични теории за Вселената:

- *стаационарна и*
- *еволуциона Вселена.*

Теоријата за стаационарна Вселена вели дека Вселената е апсолутно иста во сите правци и сите точки, во сите моменти од времето. галаксиите не се оддалечуваат, туку исчезнуваат, други се појавуваат, како материјата бавно да се раѓа во меѓугалактичкиот простор (за да се надокнади материјата која се претвора во енергија). Тоа се тешко сфатливи поставки и прашање е колку се веродостојни, иако од филозофски аспект оваа теорија е доста привлечна (теорија за вечна Вселена).

Еволуционата теорија кажува дека Вселената се менува, има свој развој, еволуција во просторот и времето. Значи, има свој почеток и од тогаш таа се шири. Но, дали ќе се шири вечно?

Хаблов закон. Космологија

Галаксиите се оддалечуваат една од друга. Тоа е појава што астрономот Е. Хабл ја откри во 1929 год. Тој утврди дека сите галаксии се оддалечуваат од нас. Тоа е непобитно утврдено според поместувањето на спектралните линии во спектрите на оддалечените галаксии (црвено поместување на спектралните линии заради Доплеровиот ефект).

(Доплеровиот ефект е појава кога настанува промена на брановата должина (фреквенцијата) на зрачењето заради релативно движење на изворот во однос на набљудувачот (приемникот). Кога изворот се оддалечува брановата должина на регистрираното зрачење се зголемува (и обратно) промената на брановата должина е $\Delta\lambda = \lambda_0 \frac{v}{c}$ каде што v е брзина со која се движи изворот, c брзина на светлината, λ_0 е бранова должина на зрачењето кога изворот мирува).



Едвин Хабл (1889 - 1953), американски астрофизичар.

Е. Хабл утврди дека брзината со која галаксиите се оддалечуваат е пропорционална на нивната оддалеченост d :

$$v = Hd \quad (1)$$

што го претставува *Хабловиот закон*, еден од најважните закони за Вселената. Во горниот израз H е Хаблова константа која ја карак-

теризира брзината на ширење на Вселената. Според поновите мерења, оваа константа има вредност

$$H = (65 \pm 8) \frac{\text{km}}{\text{s Mps}} \quad (2)$$

(километри во секунда по мегапарсек).

Експерименталното одредување на Хабловата константа е доста неизвесно и врзано со неизбежна грешка.

Бидејќи нашата галаксија нема некое посебно место во Вселената, не е нејзин центар, јасно е дека одреденото оддалечување важи за сите галаксии. Сите тие се оддалечуваат една од друга. Сликвито тоа се прикажува како точките на балон кој се шири; сите точки ќе се оддалечуваат како што се надувава балонот.

Последиците од ширењето на Вселената се значајни;

-максималното растојание до каде може да се "набљудува" Вселената е $d_{\text{max}} = \frac{c}{H}$ значи $\sim 2 \cdot 10^{10}$ светлосни години односно $6 \cdot 10^9$ ps каде што зедовме дека максималната брзина со која се оддалечуваат најдалечните галаксии може да биде еднаква на брзината на светлината. Јасно, се што е подалеку од d_{max} не може да се регистрира. Тоа се вика *граница на набљудување* или *хоризонт на Вселената*. Делот од Вселената кој може да се набљудува се вика *Метјагалаксија*.

Ако се замени за брзината $v=d/t$ во Хабловиот закон се добива:

$$\frac{d}{t} = Hd \quad \text{односно} \quad t = \frac{1}{H} \quad (3)$$

Земајќи ја вредноста на Хабловата константа, се добива $t=18 \cdot 10^9$ години, (осумнаесет милијарди години), и толкава би била староста на Вселената, т.е. времето кога започнало нејзиното ширење. Споредено со други теории ова време добро се вклопува во границите меѓу десет и дваесет милијарди години за старост на Вселената.

Значи, пред 15 - 20 милијарди години сета материја и енергија биле собрани во

извонредно мал простор, првобитно "космичко јајце". Но не само материјата, туку и целиот простор бил збиен, компримиран. Со циновска експлозија (*Big Bang*) Вселената го започнала своето ширење кое трае и денес. Раната Вселена била само зрачење и врели гасови, потоа се формираат гасни облаци, (кога температурата паднала на 2000 К се формирале атомите на водород и хелиум), протогалаксии, галаксии што започнале засебна историја, па се формирале ѕвездите и другите космички објекти.

Но, дали има некаков доказ, некој остаток од *Големата експлозија*? Во 1964 год. А. Пензиас и Р. Вилсон открија зрачење, шум, што секогаш е присутен во Космосот, што не потекнува од небеските објекти туку како небото во целина да зрачи, слично на зрачење на црно тело при многу ниска температура од $\sim 3\text{K}$. Ова заднинско, *реликтивно зрачење* се смета дека е остаток од Големата експлозија, како досега Вселената во целост да се изладила на таа температура.

А сега неизбежното прашање: Дали Вселената вечно ќе се шири?

Физичарите сметаат дека тој процес зависи од просечната густина на материјата во Вселената. Просечната густина не може да се утврди со голема точност затоа што постои материја во Вселената која не може да се регистрира, не се гледа (во црните јами, во невидливите гасови меѓу галаксиите, во неутрината ако нивната маса само малку се разликува од нулта вредност итн.).

Ако густината на материјата надмине некоја критична вредност ($\rho > 10^{-29} \text{ g/cm}^3$), тогаш процесот на ширење на Вселената може да се замени со збивање заради гравитацијата која ќе достигне некоја определена вредност. Вселената би се компримирала до размери на првобитното "космичко јајце", би настанала нова голема експлозија итн. Тоа би бил модел на Вселена која осцилира, која има циклуси. Тогаш Вселената не би имала ни почеток ни крај, а ние живееме во еден миг на таков циклус.

Пред да завршиме, треба да истакнеме дека човекот со својот интелект како највисок степен на организација и творба на таа иста вселенска материја, во тек на илјадалетија ги

напрегнува своите духовни сили да ги разоткрие тајните и законитостите на Вселената за да го одреди своето место и улога во неа.



Арно Пензиас (1933–). Американски физичар кој долго време работел во Беллабораториите во одделот за радиофизички иследувања. Добитник е на Нобелова награда за физика во 1978 год. заедно со Р. Вилсон.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Каков е составот на интерстеларниот гас?
2. Какви маглини се откриени?
3. Од што се состои примарното космичко зрачење?
4. Кои се најпознати теории за Вселената?
5. Дали Вселената има почеток и крај?
6. Каква законитост откри Е. Хабл во 1929 год.?
7. Што е Доплеров ефект?
8. Какви се последиците од ширењето на вселената?
9. Кој е доказот за Големата експлозија или тоа е само теорија?
10. Која густина на материјата во вселената се смета за критична?

4. ФИЗИКА НА МАТЕРИЈАЛИ

Во ова поглавје ќе запознаете со некои нови материјали и ќе научите за нивните својства и примена.

СТРУКТУРА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ

ОСОБИНИ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ

ИСПИТУВАЊЕ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ

УНИКАТНИ МАТЕРИЈАЛИ

НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ ПОСТАПКИ НА ДОБИВАЊЕ МАТЕРИЈАЛИ

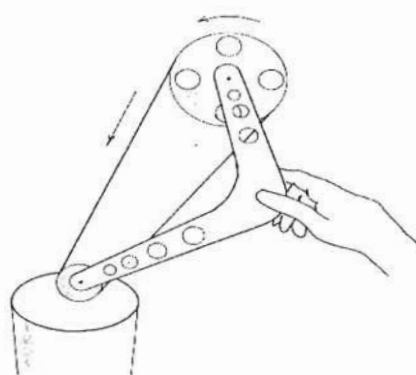
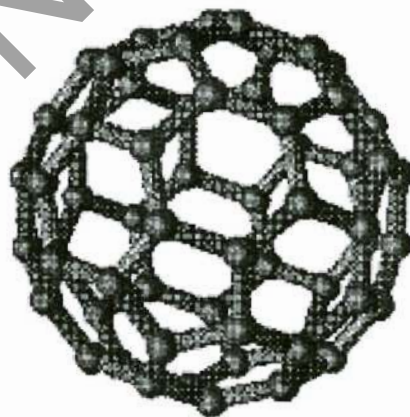
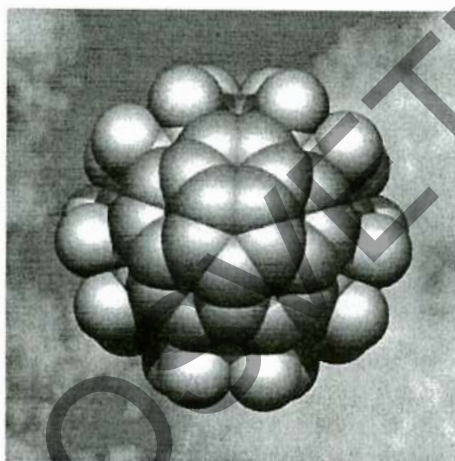
ПОРОЗНИ МАТЕРИЈАЛИ

ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ

КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ

ИНТЕЛИГЕНТНИ МАТЕРИЈАЛИ

ФУЛЕРЕНИ



4.1. СТРУКТУРА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ

Се смета дека интересот кон материјалите започнал некаде пред 2 милиони години кога човекот почнал од камен да прави различни алатки, кога фактички и започнало каменото време. Сепак дека тогаш човекот не ја познавал структурата на употребениот материјал и неговите механички и други физички својства, но тоа не било причина да не го разликува по “квалитет” и форма. Структурата на супстанцијата на човекот во детали не му била позната сè до почетокот на 20 век.

Каменото време веќе било на одминување некаде пред 5000 години кога на далечниот исток се појавило бронзеното време. По него (пред 3000-3500 година во Средна Азија) се појавува железното време, за кое може слободно да се рече дека сеуште трае. И покрај тоа што железото својата полнолејност ја постигна со челикот, со кој фактички почна ерата на машиниите, во последно време се појавија и многу други доминантни материјали, кои според својата хибридна структура и својства се вpletкуваат скоро во сите домени на современиот живот.

Човекот никогат, па ниту денес не е задоволен со материјалите што му се на располагање, па затоа се впушта во креирање на нови структури на материјали кои ќе поседуваат посебни, не ретко уникатни својства. Физиката на материјали притоа има непроеценлива улога.

Проникнувањето до микроструктурата, и до структурите на нивоа под атомското, се должи на резултатите добиени од истражувањата на новите материјали. Проучувањето на комплекси од молекули и креирање на наноструктури, се доближува до растојанија блиски до атомските, а мали интервенции во овие подрачја придонесуваат за драстични промени на физичките својства на употребените материјали.

При проучувањето на материјалите предност им се дава на најупотребените,

како што се машинските, конструкциските, но и на употребените во специфични подрачја, (космичките, нуклеарните, медицинските итн). Според тоа се наметнува потребата од хиерархија и дефинирање на материјалите. Од аспект на апликативност материјалите треба да ги задоволуваат следните критериуми:

- најмалку во една аґреґајна состојба да бидат применливи,
- технолошки и индустриски да можат да се произведуваат.

Од екстремна гледна точка материјалот е составен од атоми на соодветен начин подредени, со својата надворешна гранична површина е ограничен, но не и изолиран. Треба да се издвои дека конституивните компоненти од микроструктурен аспект на материјалот се поврзани со внатрешни сили и меѓусебно разделени со гранични површини на кристални зрна-кристали и фази-региони со иста кристална структура и својства. По правило агрегатната состојба на материјалот во тек на употребата е непроменлива.

Тврдиите материјали на кои припаѓаат металиите претставуваат множество од голем број на честичи што си дејствуваат заемно. Кај нив присуството на електромагнетни појави се определува од колективните својства на целото множество на електрони, атоми, јони итн.

Суштинска промена во постапките за добивање на материјали станува неопходност поради постоење на однос помеѓу внатрешната структура на материјалите и нивното надворешно однесување. Посложеното надворешно однесување се должи на покомплицирана внатрешна архитектура.

За да се добие претстава за редот на големината и структурата на материјалот, направена е соодветна хиерархиска шема која е претставена на сл. 1.

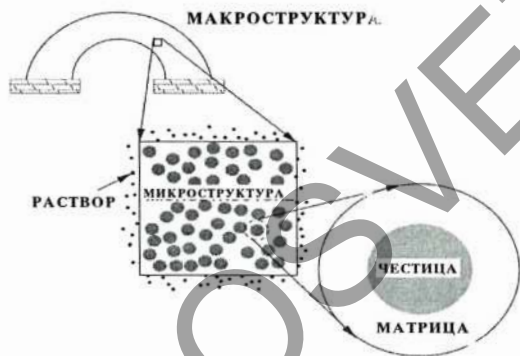
Атомската структура дава информации за распоредот на елементарните честички во атомите и молекулите и нивната заемна поврзаност.

Внатрешната или фина структура, всушност претставува распоред на атомите и молекулите, со чија подреденост се определува кристалната конфигурација, аморфноста, егзистенцијата на фази и слично.



Сл. 1. Вид на структура и ред на големина

Микроструктурата пак, дава, можност да се добијат информации за геометријата на составните делови (кристали), нивниот меѓусебен распоред и внатрешните гранични површини.



Сл. 2. Модел на хиерархија на структура

Макроструктурата дава можност за добивање подетална претстава за надворешната геометрија, макроскопските димензии и пукнатини на материјалите, видливи тврди раствори, сегрегации и сл. Тоа посебно доаѓа до израз кога се разгледуваат монолитни фрагменти, видови (сл. 2), плочи и слично, од чија компактност зависи стабилноста на дадена архитектонска или било која структура.

Треба да се истакне дека структурната посебност на состојбата на материјалот не е

непроменлива. Ако дојде до промена на надворешните влијанија (температура, притисок, радијација, поле,...), може да дојде и до промена на состојбата на материјалот.

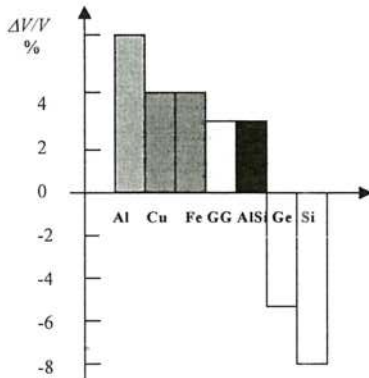
Макроструктурата асоцира на видливи карактеристики на материјалот, но и некои особини кои се определуваат со макроскопски постапки, визуелизација и директни контакти со него.

Според надворешниот изглед, рапавоста е една од тие особини за кои не е потребно посебно објаснување.

Што се однесува на густината (ρ -која за тело со определена форма се изразува преку односот на неговата маса- m и неговиот волумен- V ; $\rho=m/V$) карактеристична е величината **теоретска густина**. Таа се определува врз основа на обликот и димензиите на елементарната ќелија и распоредот и бројот на атомите во неа. Волуменот (V) на елементарната кристална решетка се определува со геометрички методи при што се користи обликот на елементарната ќелија, а масата (m) се добива врз основа на бројот на атомите и нивната маса. **Реалната густина** на материјалот поради присутните дефекти, празнини и дислокации, е секојпат пониска по вредност од **теоретската густина**. За аморфните материјали поради специфичната подреденост во употреба е **најголема експериментална густина**. Таква густина кај растопен материјал по правило многу малку отстапува од теоретската густина. Преку густината, од друга страна, пак, се добиваат информации за тежината на материјалите, поради што се појавуваат на пример, "лесни" (Be, Al) и "тешки" (Co, Pb) метали.

Интересно е што со промена на температурата доаѓа до промена на густината поради релативната промена на волуменот која зависи од термичките осцилации на конституентите. Такви промени се сретнуваат и при премин на материјалот од течна во тврда состојба и обратно. На сл. 3 компаративно се претставени релативните промени на волуменот при температурата на топењето на материјалот за различни елементи. Од овде произлегува дека густината на втечениот материјал може да биде поголема (Si, Ge) или помала во однос на оној во тврда состојба (Al, Cu, Fe, GG-сив лив, AlSi). Некои материјали (**инвар** - 35Ni - 65Fe)

покажуваат нулта експанзија во определен температурен интервал (за инвар од -50 до $+150^{\circ}\text{C}$). Со макроскопски постапки е можно да се определат својствата и однесувањето на макроструктурните материјали.



Сл. 3. Дијаграми за промена на релативниот волумен при топењето

Новодобиевите материјали помогнуваат при севкупниот развој на научните достигнувања, а соодветниот развој на науката обезбедува можности за синтетизирање на материјали со многу сложени структури. Неретко добиени *хибридни конгломерати од материјали*, пројавуваат карактеристични и уникатни својства.

Со помош на нови технолошки постапки можно е да се создадат уникатни материјали со посебни кристални структури и својства (тврдина, термоотпорност, антикорозивност), кои ќе можат да се применуваат во екстремни и ригорозни работни услови.

ПРАШАЊА И ЗАДАНИ

1. Од микроскопски аспект, од што зависи густината на материјалите?
2. Што се случува со промената на густината на водата при промена на агрегатна состојба?
3. Што е “аномалија на водата” и зошто е важна оваа појава?
4. Наведете некои макроскопски карактеристики на материјалите!

4.2. ОСОБИНИ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ

1. ЕЛЕКТРИЧНИ ОСОБИНИ

Електричните особини на материјалите се мошне актуелни поради значајноста на електричната струја, која од електричните генератори низ разни преносни системи навлегува во домаќинствата, индустријата, телекомуникациите итн. Електричните особини на материјалот зависат од електронската структура на атомите, нивната подреденост во кристалната решетка, од надворешните услови, агрегатната состојба, итн.

Од аспект на електричната спроводливост, материјалите главно се групирани на: *спроводници* и *изолатори*. Кога се зборува за спроводни материјали, често се мисли на *металите* поради нивната застапеност како комерцијални спроводници на електричната енергија. Електричната спроводливост на металите најчесто се објаснува со користење на познатиот *модел на слободни електрони* и т.н *зонска теорија*. Носители на струја кај металите се слободните електрони, при што при спроводност не доаѓа до нарушување на структурата на металите. Поради тоа тие и припаѓаат на групата *спроводници од I ред*. За споредба, *спроводници од II ред* се *електролитиите* каде носители на струја се јоните, и кај кои по извесно *течење* на електрична струја доаѓа до деградација на почетната течна структура на електролитот.

Мошне интересна група во однос на спроводливоста претставуваат полупроводниците материјали. Механизмот на спроводност кај *полупроводниците*, може да биде *електронска* или *шуплинска* (празнинска). Според тоа како носители освен електрони се јавуваат и шуплини (празнини), па поради доминацијата на носителите се сретнуват *N* (негативни) *електронски* и *P* (позитивни) *шуплински* полупроводници. Не навлегувајќи во механизмот на спроводност кај полупроводниците треба да се истакне дека е од голема важност *P-N конјактиот* на чија основа се појавија полупроводниковите диоди, а потоа и *транзисториите*, *тиристорите*, *интегралните кола* итн.

2. СУПЕРСПРОВОДНОСТ

Феноменот *суперспроводност* е откриен 1911 од страна на *Камерлинг Онес* (*Kamerling Onnes*) кога е забележано дека на температура од 4,2 K отпорот на живата (Hg) нагло паѓа на нула. Подоцна е откриено дека повеќе метали и легури на температури блиски до апсолутна нула преминуваат во суперспроводна состојба, за која е карактеристично *полно* отсуство на отпор за електричната струја.

Температура на премин во суперспроводна состојба е наречена *критична температура* T_c . Направените истражувања покажаа дека чистите метали можат да преминат во суперспроводна состојба, само на температури пониски од 10 K, а за некои легури (на Nb) до 24 K.

Од 1980 до 1986 година во разни етапи доаѓа до степенито покачување на температурата на суперспроводност, но при тоа не е надмината вредноста од 25 K.

Без сомнение епохален чекор кон покачување на температурата на суперспроводност е направен од страна на *Беднорц* (*Bednorz*) и *Милер* (*Müller*), кои за своите истражувања добија *Нобелова награда за физика* (1987). Во април 1986 година, тие открија дека оксидот $Ba_xLa_{5-x}Cu_3O_{5(3-x)}$ покажува ефекти на суперспроводност на 30 K. Во декември истата година, тие ја покачуваат температурата на суперспроводност на 40 K. Набрзо со истражување во други материјали добиената критична температура ја надмина вредноста од 77 K, со што започна *високотемпературната суперспроводна илуска*.

Губењето на суперспроводните својства на испитуваните образци под влијание на надворешно магнетно поле H е уште едно фундаментално својство на суперспроводната состојба. Овде треба да се истакне дека поврзанооста меѓу надворешното магнетно поле H и магнетната индукција $\vec{B}$ во материјалот е дадена со релацијата:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (1)$$

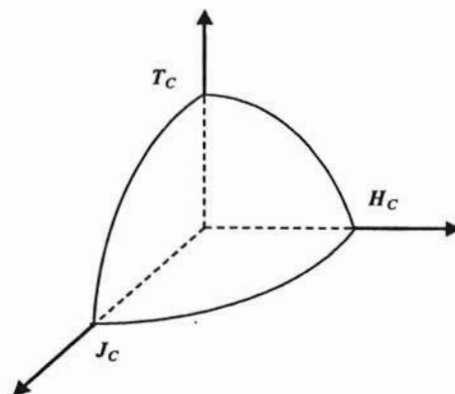
каде што со μ_0 е означена *магнетната пермеабилност* во вакуум.

Вредноста на критичното магнетно поле B_c , освен од материјалот, зависи и од температурата на која се наоѓа суперспроводниот образец. Критичното магнетно поле B_c е нула на $T=T_c$ и расте со опаѓање на температурата според релацијата:

$$B_c = B_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (2)$$

каде што $B_c = B_0$ ако $T \rightarrow 0$.

Кога надворешното магнетно поле ја достигне вредноста H_c , образецот постанува нормален спроводник со определен електричен отпор. Од тука произлегува дека јачината на полето H_c до која материјалот ги задржува суперспроводните особини е *критична јачина на магнетното поле*. Се додека е $H_c < H$ суперспроводникот го задржува своето дијамагнетно однесување, т.е. по површината на суперспроводникот се индуцираат електрични струи (*Мајснеров ефект*), кои создаваат спротивно насочено магнетно поле, така што во внатрешноста на суперспроводникот резултатното магнетно поле е еднакво на нула.



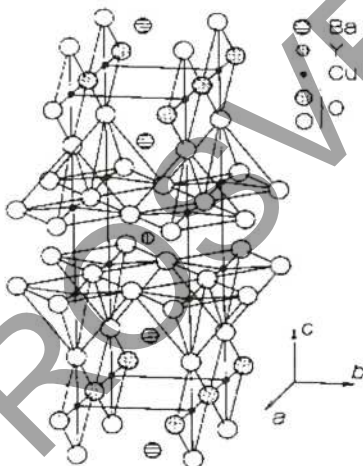
Сл. 1. Фазен дијаграм и критични вредности кај високотемпературен суперспроводник

Освен критичната температура (T_c) и критичното магнетно поле (H_c), друг важен параметар, особено од апликативен аспект е и критичната јачина (I_c), односно критичната густина (J_c) на струјата. Овие величини се

дефинираат преку максималната јачина на струјата, односно максималната густина на струјата, кога при дадена температура доаѓа до нарушување на суперспроводноста. Фазниот дијаграм за зависноста помеѓу T_c , H_c и J_c е претставен на сл. 1. Највисоки вредности H_c и J_c имаат кога температурата е близу до 0 K, додека највисока вредност J_c има ако H и T се еднакви на нула.

Површините на сл. 1 фактички претставуваат *критични површини*. Придвижувајќи се кон координатниот почеток материјалот е суперспроводен, а надвор од опишаните површини не е суперспроводник.

Еден од најексплоатираните суперспроводни материјали е соединението $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, поради неговата интересна структура, релативно висока критична температура (~ 92 K), неговата стабилност, како и мошне едноставните експериментални постапки за негово добивање. Тоа во својата структура содржи CuO_2 рамнини помеѓу кои како сендвич во себе содржат Ba, Cu и O атоми (сл. 2).



Сл. 2. Структура на соединението $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

Високотемпературните суперспроводни материјали наоѓаат поопширна примена во разни научнотехнички и индустриски подрачја (обезбедување силни магнетни полиња и експеримени ид нуклеарната фузија). Таму каде што постојат услови, поради нивната рационалност

ги истиснуваат класичните суперспроводни материјали. Според научните сознанија кога би се постигнала суперспроводност на собна температура, во спроводниците, поради отсуство на електричен отпор, ќе потече вишок од електрична струја.

Потрагата по суперспроводни материјали доведе до откривање на суперспроводност на температура од 39 K кај метален MgB_2 што предизвика возбудување во научните кругови. Предноста на таквиот материјал се механичките својства. Неколку групи научници (2002) со користењето на MgB_2 добија високи вредности и на магнетни полиња.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Во која насока се движат шуплините?
2. Како изгледа $R=R(T)$ дијаграм за суперспроводник?
3. Да се погледаат некои интересни структури на ВТСП-материјали на интернет!
4. Нацртајте $H_c=f(T)$ при B_0 и T_c константни!
5. Набројте конкретни примери за примена на ВТСП-материјали.

3. МАГНЕТНИ ОСОБИНИ

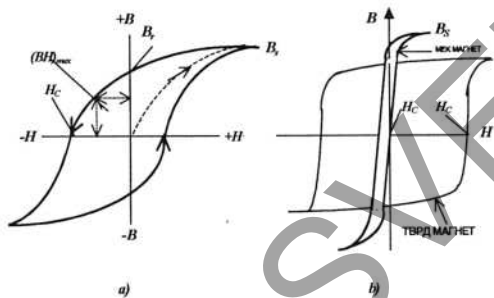
Феноменот магнетизам е мошне актуелен, неговото проучување е можно со откривање на нови материјали и техники, а користењето на магнетните материјали се неизмерно заслужни за подобрување на квалитетот на животот.

Според вредноста на *магнетната* *проницаемост* μ_0 се разликуваат *дија*, *пара* и *феромагнетни материјали* (физика за II година). *Магнетниот хистерезис* и *Кириевајќа темперијатура* (T_c) се одлики на магнетните материјали.

Од обликот на кривата позната како *магнетен хистерезис* се суди за својствата на магнетниот материјал. За да се добијат информации за добивање на магнетниот хистерезис треба да се погледа кривата на сл. 3а. *Снимањето на хистерезисот* започнува со зголемување на надворешното магнетно поле

(H) со што ќе дојде до зголемување на магнетната индукција (B) во испитуваниот материјал (означено со испрекинатата линија со стрелка), се до постигнување на магнетна заситеност B_s . Ако потоа се намалува надворешното поле, демагнетизацијата нема да се одвива по испрекинатата линија, туку по линијата $B_s \rightarrow B_r$. Точката B_r е позната како вредност на *заостанати* или *реманентен магнетизам*. Ако се промени насоката на надворешното поле според претходните објаснувања се стигнува до точката H_C позната како *коерцијивна јачина* на полето. Со понатамошна процедура според обликот на кривата и стрелките повторно се доаѓа до точката B_s со што се добива конечниот облик на магнетниот хистерезис.

Освен *реманентна магнетна индукција* (*реманенција*) B_r и *коерцијивна јачина на полето* (*коерцијивност*) H_C , перманентните магнети се карактеризираат и со максимален енергетски производ $(BH)_{max}$.



Сл. 3. Магнетен хистерезис. а) Шема за определување на $(BH)_{max}$; б) Компаративна презентација на хистерезисни криви за мек и тврд магнет

На претставениот B - H магнетен хистерезис и определените B_r , H_C е дадена шема за определување на $(BH)_{max}$. Според вредностите на B_r , H_C и $(BH)_{max}$ се суди за квалитетот на магнетниот материјал. На истата слика под б) е дадена компаративна презентација на хистерезисни криви за *тврд* и *мек* магнетен материјал. Забележливо е дека од хистерезисот е можно да се добие максималната магнетна енергија преку производот $(BH)_{max}$. Теоретски ограничувањето на магнетната енергија се определува преку магнетната сатурација (заситување) M_S :

$$(BH)_{max} = (2\pi M_S)^2. \quad (2)$$

Од апликативен аспект магнетните материјали се делат на *магнетно меки* (материјали кои се магнетизираат при слаби магнетни полиња и брзо се демагнетизираат) и *магнетно тврди материјали* (материјалите што се користат за постојани магнети, за нив се потребни посилни магнетни полиња и остануваат трајно намагнетизирани). На сл. 3б е претставен магнетниот хистерезис за мек и тврд магнет. Во групата на тврди магнети припаѓаат легури на $AlNiCo$, а на меки $Fe-Al$, Co , Ni , Si легури.

Над *Кюриевата температура* (T_C) материјалите ги губат магнетните својства. Вредноста на T_C за некои феромагнетни материјали се дадени во табела I.

Табела I.

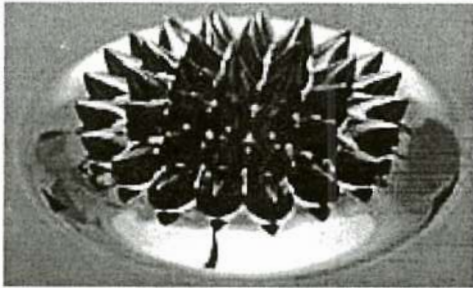
ФЕРОМАГНЕТИК	T_C (K)
Co	1400
Fe	1043
Ni	631
CrO_2	792
Gd	292
EuO	69

Постои и група на магнетни материјали за посебни намени.

Течните магнети, или *магнетни течности*, претставуваат повеќефазни и повеќекомпонентни дисперзни системи. Како магнетни течности често се јавуваат *ферофлуиди* и органски течности во кои има течни диелектрични јони и течни јони на спроводник (водни раствори - електролити).

Ферофлуидните суспензии содржат ситни честички со нанометарски димензии на Fe , Co , Ni или магнетит (Fe_2O_4), така што нивните термички движења се посилни од силите на магнетните привлекувања што би довеле до нивна сегрегација. Течните магнети остануваат стабилни во гравитационо и магнетно поле што е мошне значајно од аспект на примена на овие материјали. Експериментите покажуваат дека во магнетната течност во присуство на слаби магнетни полиња доаѓа до формирање на иглообразни агрегати (сл. 4) кои ја променуваат магнетната состојба на течноста. Обликот ќе зависи од геометријата

на половите на електромагнетите, интензитетот на полето, растојанието меѓу течноста и полето, а обликот ќе се менува со промена на полето.



Сл. 4. Изличестив облик на ферофлуид

Експериментално се покажува дека бројот на домените (n) е обратно пропорционален со температурата (T), а општата релација со која се опфатени надворешните и внатрешни фактори има облик:

$$n = kHN/T \quad (2)$$

каде со H е означено надворешното магнетно поле, N е средниот број на честички во магнетот, а k е коефициент на пропорционалност.

Динамиката на разрушување на доменската структура има инверзен карактер од карактерот на формирање. Таа се одвива или со значително намалување на полето, или пак, со зголемување на температурата при константно надворешно поле.

Магнетните течности наоѓаат посебна примена во биомедицинските дисциплини. Нивната уникатност дава можност за решавање на некои проблеми што се јавуваат во биопронесите, а со користење во биониката се отвараат нови можности за нивно аплицирање.

Пред да се изврши некоја интервенција во хирургијата, на пример, магнетните течности се доведуваат на соодветно место и со помош на магнетно поле од перманентен магнет се задржуваат таму. Артеријата на тој начин се блокира без употреба на посебни стегалки.

Со **металокерамички постапки** се добиваат силни **металокерамички магнезии**. Тоа се одвива со ориентирање на магнетните прашкасти честички во магнетно поле, а потоа со

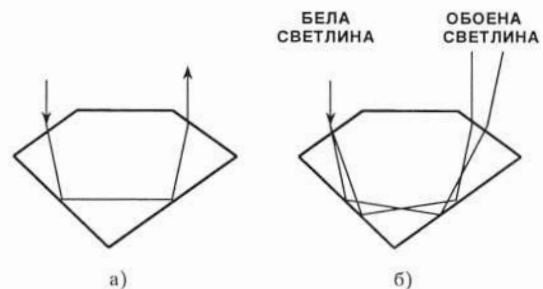
нивно компактирање и температурно згуснување. Така можат да се добијат материјали со програмирана геометрија и минијатурни димензии.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дајте коментар за постапката за добивање на хистерезис на мек и тврд магнет.
2. Каква е разликата на коерцитивната јачина меѓу тврди и мекки магнетни материјали?
3. Зошто последните 2 материјали во табела I не се погодни за скојдневна употреба?
4. Дали знаете дека ферофлуиди се користат при ротационите системи на CD за намалување на триењето?

4. ОПТИЧКИ ОСОБИНИ

Според бојата се идентификуваат материјалите, а не ретко се добиваат информации за структурата и некои од нивните својства.



Сл. 2. Шемајско претставување за добивање на боја од бела светлина по поминување низ дијамантски кристал: а) за монохроматска; б) за бела светлина.

Кога светлината патува низ транспарентни кристални материјали придружена со феномените од прекршување, рефлексија, дисперзија, при определени услови во кои се зема предвид индексот на прекршување и аголот на тотална рефлексија се добиваат специјални колоритни ефекти карактеристични за скапоцените камења. Такви ефекти за дијамантот како пример со индекс на прекршување $n=2,42$,

и агол на џошлална рефлексија $\theta=24,4^\circ$ илустративно се покажани со помош на сл. 2.

Овие околности покажуваат дека кога светлина ќе падне на површината на дијамант, под агол помал или еднаков на $65,6^\circ$ (што се добива од $90^\circ-24,4^\circ$), светлината два пати тотално ќе се рефлектира, а потоа ќе може да излезе од дијамантот (сл. 2.а). Кога упадната светлина е бела, излезната светлина ќе биде обоена (сл. 2.б).

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Што е тоа боја на тела?
2. За механизам на формирање виножито да се види *Имјулс* 42, стр. 15 (1988).
3. Како е дефиниран n ?
4. Што е тоа дисперзија на светлината?

5. МЕХАНИЧКИ ОСОБИНИ

Механичките особини го карактеризираат однесувањето на материјалите под дејство на напрегање поради што играат важна улога при оценка на нивниот квалитет. Ако тело се подложи под дејство на надворешни сили, во зависност од неговите својства, тоа претрпува промени на својата форма.

За да се добијат информации за особините, однесувањето на материјалите во тек на технолошките процеси или при подложување на надворешни влијанија треба да се направи соодветна карактеризација на материјалите. Таа е поделена во две групи:

- *деструктивна*, кај која доаѓа до деформација, деформација или уништување на материјалот и
- *недеструктивна* кај која материјалот не го менува обликот и особините во текот на испитувањата.

Неретко механичките својства се главен фактор за определување на степенот на искористување на материјалите. *Цврстината, еластичноста, кривоста, пластичноста*, се особини кои најчесто се земаат во внимание при нивната употребливост. При тоа за дадена

намена се потребни материјали со определени вредности за некое својство.

Својствата понекој пат се определуваат по индиректен пат. На пример еластичните својства изразени преку еластичните модули можат да се определат преку измерените вредности за брзините на лонгитудиналните и трансверзалните ултразвучни бранови и густината на испитуваниот материјал. За таа цел се користат релациите што произлегуваат од теоријата на еластичност и тоа за:

- модулот на аголно поместување (или модул на торзија- G) се користи изразот:

$$G = \rho v_T^2 \quad (3)$$

- Јанговиот модул (E):

$$E = \rho v_T^2 \frac{3v_L^2 - 4v_T^2}{v_L^2 - v_T^2} \quad (4)$$

- модулот на компресија (B):

$$B = \rho \frac{3v_L^2 - 4v_T^2}{3} \quad (5)$$

- Пуасоновата константа (σ):

$$\sigma = \frac{1/2 v_L^2 - 4v_T^2}{v_L^2 - v_T^2} \quad (5)$$

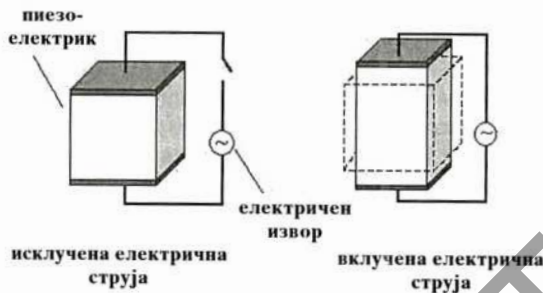
каде што во изразите од 3 до 5 ρ е густина на материјалот, а v_L и v_T се вредностите за брзините на лонгитудиналните и трансверзалните ултразвучни бранови, соодветно.

Од измерените модули и вредноста за Пуасоновата константа, комплетно е определена еластичната состојба на материјалот.

Мошне важни карактеристики на материјалот се *мехничката јачина и расцепливоста* кои се изразуваат во проценти (%), *кинење и кривливост*. Освен овие, се сретнуваат и испитувања за *живавоста* на материјалот, однесување при *компресибилност*, испитување на *замор* (нарушување на неговите механички карактеристики со долготрајна употреба) на *материјалот* итн. Многу покомплицирано е испитувањето на материјалот кога е тој изложен на повеќе видови напрегања истовремено.

Освен од големината на напрегањето треба да се испита и однесувањето на материјалот при различни температурни режими, но не помалку важно е и *времето* на изложување на материјалот како и *сукцесивноста* на изложувањето.

Мошне интересно однесување покажуваат материјалите кога промената на механичките својства е поврзана со промена на други својства: електрични (пиезоелектрицитет), магнети (магнетострикција) итн. Таквите материјали и припаѓаат на групата *функционални материјали*.



Сл. 3. Принципиелна шема за волуменски промени како резултат на пиезоелектричен ефект

Пиезоелектричниот ефект може да се дефинира како способност на материјалот да ја конвертира механичката енергија во електрична. Такви материјали при деформација покажуваат електрична поларизираност, и обратно, кога ќе се изложат под дејство на електрично поле, ги променуваат димензиите (сл. 3), т.е. се деформираат. Според тоа, со овие материјали е можно електричната енергија да се претворува во механичка, и обратно, ефекти што обезбедуваат нивна специјална практична применливост. Според тоа неретко тие се употребуваат како *пиезоелектрични трансмитери* **PZT**.

Слично однесување покажуваат и магнетостриктивните материјали, во присуство на магнетно поле.

Врз основа на направените истражувања се констатира дека некои материјали не поседуваат некои од испитуваните карактеристики или ги поседуваат со занемарливи вредности.

Така на пример за испитувањето на истегнувањето на *сивиот лив* се покажува дека тој има истегнување нула.

Тврдината на материјалот е мошне важна *механичка карактеристика* која се дефинира преку спречување на материјалот во него да *продре* некое тело од друг материјал. Според начинот на дејствување на силата испитувањето на тврдината може да биде *статичко* или *динамичко*. При статичкото определување на тврдината силата со која се дејствува на предмет со определена геометрија за втиснување рамномерно се зголемува до некоја максимална вредност. Динамичкото испитување се состои во испитувањето на обликот од ударот. За испитување на тврдината на материјалот во последно време најчесто се користат методите по **Бринел**, **Викерс** и **Роквел**.

Мерењето на тврдината според *методот на Бринел* се состои во тоа што се мери втиснувањето на тврдо мазно топче во испитуваниот материјал со сила F . Во зависност од тврдината на материјалот зависи големината на втиснувањето на топчето.

Кај *методот на Викерс* се користи идентична постапка, само што место сферно топче се користи дијамантска призма.

При определување на вредноста на тврдината по *методот на Роквел дијамантскиот предмет* што се користи за втиснување во испитуваниот материјал има конусна форма, со агол на врвот од 120° .

При испитување на тврдината на материјалите тоа е поделена на испитување на *микро-тврдина* и *макро-тврдина*. При микротврдината испитувањата се вршат на многу мали подрачја, а испитувањата можат да бидат аплициран и на тенки филмови како и при испитувања на структурни фази.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како гласи Хуковиот закон?
2. Што е разликата меѓу еластичните и пластичните материјали?
3. Што се подразбира под замор на материјал? Од што се заморува тој?

4.3. ИСПИТУВАЊЕ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ

За да се добие претстава за структурата на тврдите материјали треба да се определат нивните конституенти и силите што дејствуваат помеѓу нив. Својствата на материјалот зависат од атомската структура, но и од распоредот на атомите во кристалната решетка. За да се дојде до тој стадиум треба да се направат испитувања кои ќе ги содржат испитувањата под атомските нивоа, но и распоредот на атомите во кристалната решетка. Пристапот до внатрешноста на материјалите е условен од степенот на техничкиот развој и методите што се применуваат при овие истражувања.

Еден од првите инструменти, со кој се правеа напори да се согледа структурата на материјалите, беше оптичкиот микроскоп. Благодарение на него можно е, во груби црти да се набљудува микроструктурата на површината на материјалите.

За подетални проучувања на супструктурата на материјалите (детали на граничните површини, микрорупкнатинки, дислокации, дефекти и сл.), се користи т.н. електронскиот микроскоп.

За добивање на комплетна претстава за распоредот на атомите во внатрешноста на материјалите, особено во кристалните решетки, се користи рендген-структурната анализа, која се засновува на дифракцијата на рендген зраците од кристалографските рамнини во испитуваните материјали.

Со електронскиот микроскоп при овозможена екситација на атомите, е можно да се добие претстава за нивната електронска обвивка.

При бомбардирање со високо енергетски честички, создадени се услови за проучување на составот и структурата на атомското јадро.

Според тоа, почнувајќи од површински набљудувања со оптички микроскоп, сè до други посовремени методи и инструменти, се стигнува до внатрешноста на атомското јадро и неговите конституенти.

1. МИКРОСКОПИЈА

Поради ограничените можности на оптичкиот се појави електронскиот микроскоп со кој микроскопијата ја достигна својата полнолејност. Кај електронските микроскопи, наместо светлински бранови се користат честички (електрони чија брановидна состојба овде посебно доаѓа до израз). Фактички во електронска микроскопија се вбројува било кој вид микроскопија што користи електронски сноп со голема брзина. Според конструкцијата изведба електронските микроскопи општо се поделени во две групи: рефлектирачки (Scanning Electron Microscopy-SEM) и трансмисиони електронски микроскопи (Transmission Electronic Microscope-TEM). Во последно време се појавуваат и други видови на карактеристични микроскопи меѓу кои големо доближување до структурата се овозможи со микроскопот со тунелно скенирање (Scanning Tunneling Microscope-STM).

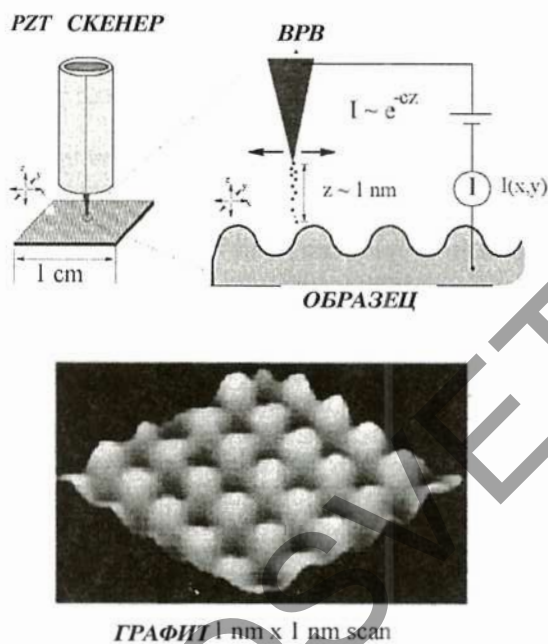
STM. Кај овој вид на микроскопи е искористен ефектот на тунелирање на електроните. Со овој микроскоп можат да се добијат слики од површините на спроводните средини со нанометарска резолуција, а во идеални услови локализирање на индивидуални атоми. За оваа откритие Бајнин (Binnig) и Роне (Rohrer) добија Нобелова награда (1986).

Кај таквите микроскопи (сл. 1) постои спроводна сонда со зашпилен врв, која се приближува до спроводниот образец на неколку нано метри (nm). Сондата е монтирана на цевкаст пиезоелектричен позиционер (сл. 1), со можност за многу прецизно (од редот на неколку атомски радиуси) тридимензионално движење. Во услови на донесување слаб напон, помеѓу иглата и образецот електроните го напуштаат спроводникот, а кога се во контакт тие тунелираат (со струја на тунелирање која е зависна од растојанието при контактот) со што се затвора електричното струјно коло. Растојанието меѓу иглата и спроводникот треба да биде константно, контролирано со автоматска далечинска контрола.

При такви услови се постигува константна струја на тунелирање, а со помош на точкато скенирање по линии се добива слика на површината. Секако дека таквата слика

комјутерски се дообработува и се добива извесна *идеологија* на *површината* на спроводникот. Прецизни скенирања се прават во ултрависок вакуум, а за да се избегнат топлинските ефекти. Тоа се одвива на $\sim 77\text{ K}$, (течен азот), а за уште поголема прецизност на $\sim 4\text{ K}$ (течен хелиум). Многу ефектни слики што често се сретнуваат во литературата се добиваат кога атоми од еден метал правилно се распоредени по површината на друг.

СИСТЕМ ЗА ПОЗИЦИОНИРАЊЕ И ПРЕБАРУВАЊЕ КАЈ STM



Сл. 1 Симулифицирана шема за системот за STM скенирање

Соодветна софтверска поддршка овозможува да се добие визуелизација на STM површината на мониторот.

2. РЕНДГЕН СТРУКТУРНА АНАЛИЗА

Познавањето на застапеноста на поединечните хемиски елементи во материјалот се недоволни податоци за да се добие комплетна претстава за материјалот. Со поблиска анализа на распоредот на неговите атоми се овозможува:

- да се утврди дали материјалот е во аморфна, кристална или друга (квазикристална, колоидна, течнокристална) состојба;
- ако е во кристална состојба на која кристален систем припаѓа;
- да се определат константите на кристалната решетка;
- да се утврдат дефектите и напреженијата во структурата.

При рамнотежна положба атомите, јоните или молекулите на кристалите се правилно распоредени. Тие лежат на јазлите на кристалната решетка и формираат рамнини наречени кристалографски рамнини. Растојанието (d) помеѓу рамнините одговара на константите на решетката на кристалот. Поради тоа што константата на решетката (d) и брановата должина на рендген зраците се од ист ред на големина е задоволен условот за дифракција на рендгенските зраци кои за разлика од светлинските, продираат во внатрешноста на кристалните рамнини. Тоа значи рефлексија на рендгенските зраци ќе настане не само од површинската рамнина туку и од останатите атомарните рамнини (сл. 2). При такви околности различните кристали даваат различни дифракциони слики.



Сл. 2. Шема за создавање услови на рендген дифракција

Дифракција ќе се набљудува само кога зраците рефлектирани од серија атомски рамнини конструктивно интерферираат. Тоа значи дека при определен упаден агол (θ) за кој патната разлика меѓу зраците рефлектирани од

соседните рамнини изнесува цел број (n) бранови должини (λ), а условите се опишуваат со релацијата:

$$n\lambda = 2d \sin\theta \quad (1)$$

каде што d е константата на решетката на кристалот. Тоа е познатата *Вулф-Бреџова равенка* за дифракцијата на рендгенските зраци позната како основен закон за определување на структурата на кристалот. Аголот θ во релацијата (1) е познат под името *Бреџов агол на блесок*.

Во последно време за проучување на монокристали на елементите се користат модернизирани и комплетно автоматизирани дифрактометри. При проучувањето на кристалната структура од интерес е и познавањето енергија на кристалот.

ПРИМЕР: Ако рендгенски сноп со бранова должина $\lambda=0,154\text{nm}$, паѓа на кубен кристал со решеткина константа $0,4\text{nm}$, колкав е аголот на рефлексија од прв ред?

Решенис: Од равенката (1) следува дека $\sin\theta = \frac{n\lambda}{2d}$, за рефлексија од I ред се добива $n=1$, од каде $\theta = \arcsin(\lambda/2d) = 11^\circ$.

3. ЕНЕРГЕТСКИ РАСПОРЕД НА ЕЛЕКТРОНИТЕ

Самата спектрална анализа е фактички метод за квалитативни и квантитативни изучувања на хемискиот состав и хемиската структура на супстанцијата со користење на оптички спектри. Тоа е можно да се направи поради тоа што електроните кога поради надворешни влијанија се *ексцитираат* (преминуваат на повисоко енергетско ниво). Екситацијата на атомите на испитуваниот материјал може да се изврши со топлински, електрични и електромагнетен пат. Екситацијата и *деексцитацијата* (враќањето во основното енергетско ниво) се придружени со апсорпција/емисија на енергетски квант опишан со:

$$hf = E_n - E_m \quad (2)$$

каде што E_n е енергијата на повисокото енергетско ниво а E_m е на пониското. h е Планкова-

та константа, а f е фреквенцијата на фотонот, преку која се определува брановата должина λ .

Според намената, а во зависност, за какви цели се испитувањата се користат *атомски* и *молекуларни* спектри. Атомската спектрална анализа според функционалноста е поделена на емисиона и апсорпциона.

При *апсорпционата атомска спектроскопија* испитуваната супстанција обично се разложува на составните атоми по пат на согорување во пламен. Таквото согорување се одвива на патот на светлина со континуиран спектар кон спектроскопот. Поради екситацијата со определена бранова должина, во континуиранот спектар на изворот доаѓа до ослабување на светлинскиот извор со иста λ , еднаква на енергетскиот премин. На тој начин се добиваат апсорпционите спектри.

Атомските спектри се *дискретни*, а спектралните линии зависат од бројот на електроните во атомот распоредени по строго определени енергетски нива.

Молекуларни спектри се добиваат врз основа на промената на енергиите на три различни видови на движење во молекулите: *електронско*, *осцилаторно* условени од периодичната промена на заемната положба на јадрата од атомите во молекулата и *ротационо* поради ротационите движења на молекулата. Квалитетот на добиените спектри во голема мерка зависи од условите на возбудување на молекулите и атомите, како и од спектроскопската опрема која во последно време е се усопостицирана.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Зошто се ограничени можностите за испитување на материјалите со оптички системи (лупа, микроскоп и сл)?
2. Дали рендген зраци можат да се рефлектираат од обично огледало?
3. Дали познавате некој кристален систем?
4. Како изгледаат дискретните спектри?
5. Дали молекуларните спектри се дискретни?

4.4. УНИКАТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Конвенционалното добивање на материјали од појдовни услови (состав, притисок, температура) во голема мера овозможува добивање материјали со дефинирани својства. Но, не ретко такви материјали не се во состојба да ги задоволат посебните потреби при нивната примена (високи температури, брзи ротации, агресивни средини, големи притисоци, ниски вредности на густина и сл.). За таа цел се неопходни специјални материјали, чие креирање на својствата е неопходно, и не се вклопуваат во некоја посебна група но, поради поседување на уникатни карактеристики е згодно да се разгледуваат посебно. Подложени на некои надворешни услови кај нив се пројавува уникатно однесување.

Клајрајни. При проучувањето на кристални структури се сретнува група на кристали познати под името клатрати. *Клајрајните* претставуваат инклузивни соединенија каде што гостинските молекули ги пополнуваат празнините што се јавуваат во кристалната решетка на домаќинот.



Сл. 1. Клајрајна структура за метан хидрид

Во зависност од тоа која решетка е избрана за “домаќин”, а која за “гостин” постојат повеќе видови на клатрати. На сл. 1 е дадена *клајрајната структура* за метан

хидрид. Специфичноста на структурата е причина за нивното специфично однесување. Поради нивната структура се користат како молекуларни сита при сушење на раствори. Водата се впира во вдлабнатините на овие материјали кои покажуваат хигроскопно однесување. Кај зеолитот, на пример, вдлабнатините постануваат реактори при што се добиваат определени геометриски изомери. Поради инклузивност на странични атоми доаѓа до интересни оптички, електрични и магнети својства, но и необични термички својства.

С-Молекуларни структури-потскокнувачи.

Кај некои молекуларни структури, се појавува способност за потскокнување при промена на нивната температура придружено со промена на нивната фазна структура. Се случува монокомпонентни (Fe, C, Ti, Sn, P,...), материјали во определени температурни интервали да се најдат во други кристалографски модификации. Тоа многу често се случува и со повеќе компонентни материјали. Различните кристални модификации покажуваат различни физички карактеристики и пројавуваат различно надворешно однесување (*жестотина, џврдина, еластичност, електрисководност, специфичен џојлински капацитет, боја,...*). Ретко се случува трансформацијата од една во друга кристална структура да се одвива многу брзо (дел од секунда). Ако тоа се случи, брзата промена на формата и волуменот, е придружена со некоја необична појава како што е *џотскокнувањето*.

На пример, кога кристалите на соединението А од сл. 2 (наречено: 1,2,3,4-*џетрабензил-5,6-џа-џетил-миозинол*) ќе се загреат од собна, до температура од 70°C, ќе потскокнат повеќе сантиметри во височина. Интересно е што ова однесување е и реверзибилно: при ладење на околу 40 °C кристалите повторно потскокнуваат. Истражувањето на ова соединеније покажуваат дека при фазниот премин игличестите кристали се кршат и стануваат пократки за 10%. Преориентацијата на молекулите се пренесува од едниот на другиот крај на кристалот, (со димензии 30x0,5x0,3 mm³) за време од стоти дел од секундата. Притоа настануваат механички напрегања помеѓу кристалните слоеви кои го предизвикуваат набљудува-

како материјали на новите технологии. Течната карактеристика е нивната флуидност, додека нивната (оптичка, механичка, електрична, или друга) анизотропност е карактеристика својствена за тврдите кристални структури.

Течните кристали имаат посебно значајна улога во науката за новите материјали, бидејќи како модел од аспект на физичка хемија, помогнуваат при проучувањето на врската помеѓу хемиската структура и нивните физички својства. Од друга страна, пак, тие претставуваат основа за објаснување на одредени појави во биосистемите. Фактички, течните кристали се појавуваат при процес на втечувањето на некои кристални органски супстанции каде преминот од тврда во течна фаза не е директен, туку му претходат неколку меѓуфазни состојби наречени мезофази. Во мезофазна состојба таквите супстанции покажуваат истакната анизотропија, способност за течење и пластичност.

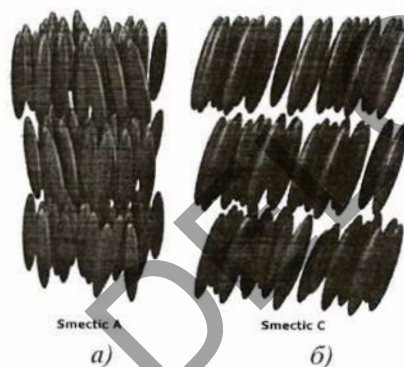
При температури повисоки од точката на топење, течните кристали сеуште задржуваат дел од кристалната структура на тврдите супстанции. Доколку е тоа димензионално подреденост станува збор за *шечен кристал-сметик*, а при еднотимензионално подредување на молекулите за *шечен кристал-нематик*. Од макроскопски аспект се доаѓа до сознание дека станува збор за мали ориентиран области во течнокристалните мезофази, во кои молекулите се поставени релативно паралелно една во однос на друга, појава позната под името текстура.

Уникатните својства на течните кристали и нивната специфична примена е причина за зголемиот интерес на научниците кон истражувањата на особините на овие мезофазни супстанции. Како резултат на тоа во последните триесетина години се откриени над 3000 такви супстанции, чија егзистенција е во интервалот од -20°C до $+400^{\circ}\text{C}$.

Сметичките течни кристали се состојат од паралелни слоеви на правилно подредени молекули на течниот кристал. По правило тие имаат широк температурен интервал на егзистенција со оптимални карактеристики.

На сл. сл. 4 се дадени модели на две карактеристични состојби кои произлегуваат

од поставеноста на молекулите на сметичните кристали: *сметик-А* (а) и *сметик-С* (б).



Сл. 4 Модел на сметични течни кристали А(а) и С(б)

Постојат и колонарни течни кристали чии молекули се во облик на дискови (наместо со стапчеста форма) и се густо групирани во колони (сл. 5). Нивна основна карактеристика е спроведување на електрична или светлинска енергија по должина на оските на колоната, благодарение на нековалентната интеракција помеѓу соседите.



Сл. 5. Модела на колонарен шечен кристал

Од аспект на условите на создавање и егзистенција, течните кристали се класифицираат во три групи: *термојтропни*, *лиојтропни* и *фојјотропни*.

Термојтропните течни кристали се карактеризираат со температура на премин од

цврста во течнокристална состојба на т.н. точка на топење (*melting point*), но особено важна при испитувањето за нивната применливост е температурата на премин од течнокристална во течна (изотропна) состојба или т.н. *џемперирајтура на просветлување* (*clearing point*). *Лидиројниите* се образуваат при растворување на кристална супстанција во некој погоден растворувач, а *фидиројниите* - при заемно дејство на супстанцијата со некој вид зрачење.

Течните кристали поради своите карактеристични својства наоѓаат специфична примена, покрај на други места и кај дисплеите за рачните часовници, калкулаторите, видео-бимот, мониторите за компјутери, видео камерите, мониторите со огромни димензии, визуелизацијата на слики во биомедицинските дисциплини, навигациони системи, телекомуникационата техника, индикаторските системи, разните регистратори, оптичките завеси, а на многу места вршат замена на катодната цевка.

Овде спомнатите материјали со уникатни својства се само мал дел од огромното множество такви материјали.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Што се подразбира под поимот уникатност на својства?
2. Наведи аналогија при потскокнување на материјали?
3. Што се тоа аерогели? Од што ќе зависи тврдината кај аерогелите?
4. Колкава е брзината на звукот во воздух, вода и челик и спореди ја со онаа во аерогел?
5. Што е разлика меѓу тврди и течни кристали?
6. Како се класифицираат течните кристали?
7. Кои течни кристали се нематски, а кои смектички?
8. Наведи некои примери каде се применуваат уникатните материјали.

4.5. НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ ПОСТАПКИ ЗА ДОБИВАЊЕ МАТЕРИЈАЛИ

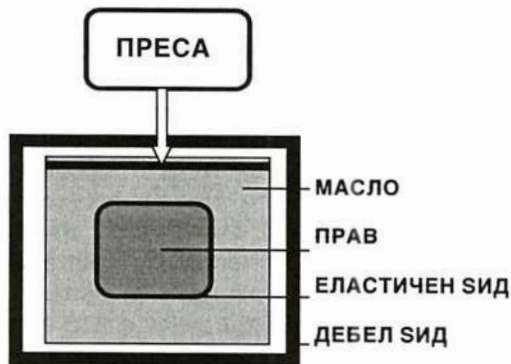
Во последно време сè поголема улога им се дава на материјалите добиени со неконвенционални постапки каде што припаѓа и вонпечната металургија и технологија каде се разработуваат различни постапки за добивање материјали со прогнозирано својства. Овде посебно е издвоена прашкастата металургија каде од метални честички во прав со компактирачки и денсификациони постапки и нивни комбинации се добиваат метало-керамички материјали.

КОМПАКТИРАЊЕ НА ЧЕСТИЧКИТЕ ОД ПРАВ

За добивање на квалитетни финални производи при обликување на материјалите од честички во прав, во последно време се користат повеќе постапки: *слободно насилување, механичко пресување, вибрационо компактирање, валање, експлузија, експлозивно пресување, изосијатско пресување* итн. Меѓутоа, при експерименталните и теоретските истражувања, поради поголема едноставност и можност за репродукција, се користи пресување со механички преси при исти услови.

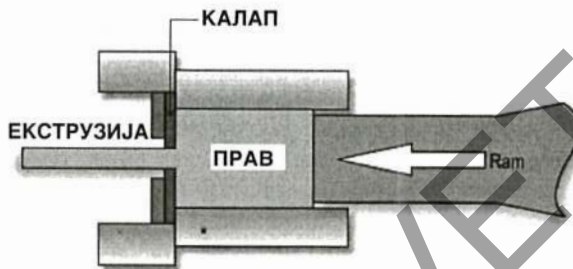
Пред да се започне со компактирање на прашковите честички, треба да се изврши нивна карактеризација и хомогенизација. Потоа тие треба да се внесат во специјални калапи со потребна геометрија и посебна издржливост на механички напрегања поради подложување на притисоци, при кои испресуваниот материјал треба да ги добие соодветните карактеристики. Предност му се дава на сестраното пресување. Варијанта на такво пресување е претставена со шемата на сл. 1.

При *изосијатско* *џиро*димензионално (или *сесџрано*) пресување, правот треба да се смести во гумен, пластичен или друг сад со еластичен ѕид, кој се потопува во флуид кој се наоѓа во специјален сад, каде флуидот, а со тоа и правот се подложува на пресување. Со цел да се зголеми компатибилноста пресувањето се изведува при покачени температури.



Сл. 1. Принципиелна шема за изостатско пресување

Вибрационно пресување, се изведува во услови кога системот со прав се изложува на вибрации со соодветни фреквенции.



Сл. 2. Шема за процес на екструзија

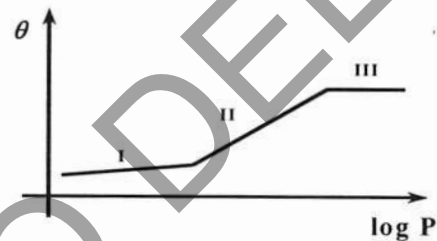
Процесот на екструзија (истиснување на испресокот под притисок сл. 2) се спроведува со цел да се добие материјал со определена геометрија како завршна форма, а се изведува во присуство на надворешно затоплување. Експлозивно пресување е процес што се изведува за многу кратко време.

Ако процесот на пресување се изведува при константен притисок и во присуство на доведена топлина од надвор, станува збор за *шопло изостатско пресување*. Кај овој процес е можно и истовремено одвивање на процесот на синтерување, поради што овој начин на пресување се сретнува и под името *синтерување под притисок*. Кај овие постапки се обезбедува добивање на материјали со високи вредности на густината, зголемена хомогеност и дефиниран облик.

Потврдено е дека пресувањето за повеќе метални материјали може да се опише преку зависноста на релативната густина (θ) од логаритамската зависност на притисокот ($\log P/P_1$) со општата релација:

$$\theta = \theta_1 + k \log(P/P_1) \quad (1)$$

каде што k е коефициент карактеристичен за секој материјал, а θ_1 и P_1 се асоцирани од насипната густина.



Сл. 3. $\log P$ - θ дијаграм при пресување на метални материјали

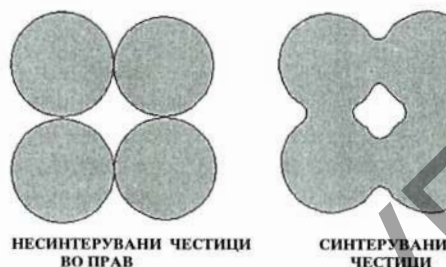
Ваквата логаритамска зависност има облик како на сл. 3. Секој од трите стадиуми од сл. 3 е карактеризиран со параметрите θ_1 , P_1 и n_1 . Не навлегувајќи детално во објаснувањето на механизмите и базичните процеси во овие стадиуми, за кои постојат и соодветни толкувања, овде ќе биде наведено што се случува во нив. Во првиот стадиум, доаѓа до *реаранжирање* на честичките преку лизгање до погусто пакување. Во вториот доаѓа до *еластична и пластична деформација*, а во третиот стадиум до *фрагментација*.

СИНТЕРУВАЊЕ

Од причини што при синтерувањето се појавуваат повеќе процеси, што се во меѓусебна поврзаност, во литературата се сретнуваат различни, а понекојпат и несоодветни толкувања на поимот синтерување. Практично, тоа е посложен технолошки процес што се состои од загревање и задржување на испресуваните материјали на определена температура, пониска од температурата на топење на компактниот материјал.

Синтерувањето фактички претставува сложен процес кој се состои од *консолидација*, *денсификација*, *рекристализација* и сврзување на *агломерирани прашикасти честички* за

време, или по компактирањето на температури под точката на топење на главната компонента (температурен интервал $0,5-0,8 T_i$ (K), каде T_i е точка на топење на синтеруваниот материјал). Во текот на синтерувањето се одвиваат одредени геометриски промени, кои можат да се опишат во услови на намалување на големината и промена на обликот на порите, образувани во интерстициите помеѓу честичките и со зголемување на средната големина на кристалитите. Брзината и геометриската промена зависат од карактерот на материјалот и од тоа дали се образува течна фаза во текот на термичкиот третман. Така стаклата, порцеланите, еднофазните или повеќефазните кристални материјали поединечно се синтеруваат на различни начини. Текот на синтерувањето може да се менува со промена на притисокот за време на синтерувањето.



Сл. 4. Формирање на контакти при синтерување

Суштината на процесот на синтерување, поради неговата сложеност може да се разгледува од повеќе аспекти. Поради упростување, тој може да се разгледува од аспект на прираснување на честичките кои се во допир (сл. 4). При тоа, текот на процесот на прираст зависи од механизмите на транспорт на маса во точката или површината на допир.

Сликата на синтерување се променува при синтерување на повеќе компонентни системи, особено ако некоја од компонентите преминува во течна фаза во тек на синтерувањето. Тогаш станува збор за *течнофазно синтерување*. Освен тоа, во однос на сложеноста на процесот, треба да се истакне *реакциононо синтерување*, кај кое покрај механизмите на транспорт на маса, битно, а неретко и доминантно влијание имаат проце-

сите на присутните хемиски реакции, чиј интензитет се зголемува со зголемување на температурата и времето на синтерување.

За набљудување на *коалесценција* на две сферни честички или цилиндрични станиња во контакт поради термичките процеси на синтерување, се користи класичниот *модел за зголемување на врт* (вообичаен израз за зголемен контакт меѓу честичките како на сл. 3 десно), предложен од *Френкел и Кучински*.

Треба да се истакне дека однесувањето на честичките кои помеѓу себе се растворуваат, е различно од она на честичките кои не покажуваат меѓусебна заемна растворливост.

Феноменолошкиот опис на процесот на синтерување често е познат како формална кинетика или макрокинетика, која претставува воспоставување на непосредна функционална врска меѓу експериментално измерените параметри и времето на изотермно синтерување.

Многу често при добивање на синтерувачки материјал освен соодветната геометрија, од голема важност се и неговите својства, кои меѓу другото се карактеризирани со неговата структура која опфаќа соодветна дисперзност и дистрибуција на пори, соодветни фази, големина и дистрибуција на кристалните зрна и др.

Сложената низа на елементарните процеси што се одвиваат за време на синтерувањето условно може да се подели на три стадиуми:

-Во *почетниот стадиум* честичките ја задржуваат својата индивидуалност и покрај можноста за нивно реаранжирање.

-Во *средниот стадиум* порозното тело може да биде сфатено како севкупност на две неуредно распределени фази: фаза од материјал и фаза од празнина.

-Во *завршниот стадиум* на синтерување, телото што се синтерува се карактеризира, главно со постоење на затворена порозност и тврда супстанција како матричен елемент (објаснување во поглавје за композитни материјали).

Од сето досега спомнато, може да се заклучи дека денсификационите процеси што се одвиваат со постапките на синтерување се определени од: чистотата и дисперзност на правот, хетерогеноста на прашковата смеша, особините на компонентите, униформноста на

густината на добиениот со пресување материјал итн. Во зависност од бараните карактеристики на синтеруваниот материјал, се одбираат условите под кои ќе се врши синтерувањето. Тоа оди во прилог на добивање материјали со прогнозираны својства како респектира на околност при добивањето нови материјали.

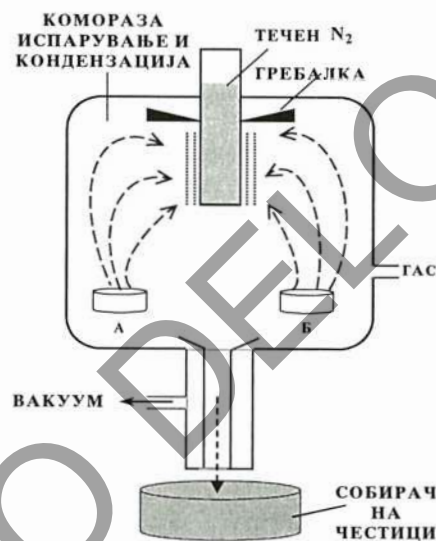
НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИЈАЛИ

Во последните неколку години, од материјали со различна природа (вклучувајќи метали, полупроводници и керамики), се добиваат материјали со атомско-класиерска структура со среден дијаметар од 5-50 nm. Тие можат да се наоѓаат во кристална, квазикристална, аморфна или некоја друга фаза. Се синтетизираат во услови на вакуум со постапки на испарување и кондензација на материјалот кој се доведува во гасна состојба. Така добиените материјали имаат забележливо различни својства од класично добиени со ист состав. Својствата се менуваат поради малата големина на структурните зрна, високата застапеност на атомите околу границите на зрната, а како резултат на тоа и меѓусебната интеракција помеѓу зрната. Се настојува, во тек на постапките на нивното добивање, да се влијае на големината на класиерскиите ансамбли, со што се обезбедува доминација на некои својства во поедини етапи.

Гас-кондензирачката постапка за добивање атомски кластери е наједноставниот концептиски модел. Материјалот (метал или легура) се подложува на испарување под снижен притисок. Испарените атоми или молекули ја губат енергијата низ судирите со гасните атоми или молекули и завршуваат како атомски кластери во суперзаситена состојба во близина на прекурсорот. Неретко доаѓа и до коалесценција на кластерските структури.

Овие три етапи се сметаат за основни и суштински при објаснувањето на еволуцијата на класиерската (гроздовидна) структура, иако е можно да се издвои уште нешто (на пример: *калсиер-класиер коалесценција*) при објаснување на механизмот за нивно добивање. Може да се додаде дека кластерски структури со помали димензии е можно да се добијат при

помали притисоци од лесен инертен гас, како што е хелиумот.



Сл. 5. Гас-кондензирачка апаратура

Во последно време се разработени поусовршени постапки и методи за добивање на нанофазни структури (од веќе спомнатата). Варијанта на типична апаратура со која е можно да се обезбедат нанофазни структури според гас-кондензирачки техники со можност за етапна консолидација, принципелно е претставена на сл. 5.

Апаратурата содржи систем за обезбедување на ултрависок вакуум. Компонентите А и Б што се користат за добивање на нанофазни кластери се загреваат во вакуум кој на почетокот се симнува до 10^{-5} Pa, а потоа се внесува соодветна инертна атмосфера. За TiO_2 на пример, како инертна атмосфера се користи хелиум. Испарените атоми се таложат на спуштениот сад наполнет со течен азот (77 K), метод познат како *ладен прст* (*cold finger*). Наталожените нанофазни кластерски честички со специјални (тефлонски) гребалки се собираат во посебен сад. Консолидационите постапки овде се изведуваат под притисок од 1-2 GPa, најчесто на собна температура со можност за покачување, ако е тоа неопходно.

Меѓу другите постапки посебно можат да се издвојат: *лазерско распрскување, аеросол*

процесии, реактор со пламен, пиролизен реактор, кои се користат според потребите.

Комплетното проучување на процесите за формирање на честички на овој начин не е завршено, но се претпоставува дека тие настапуваат со механизми на судири и коалесценција.

Својства. Ултрадисперзната структура, а со тоа и зголемената гранична површина кај нанофазните материјали е основа за нивните уникатни својства. Овде посебно доаѓа до израз зголемената интеракција меѓу конституентите (честички и домени). При тоа незанемарливо влијание има и присутната порозност.

Поради високиот степен на ултрадисперзност, но и специфичните механички својства, нанофазните материјали се многу погодни за обликување, при компактирачките постапки.

Нанотехнологијата ќе помогне да се намалат димензиите на микроелектронските кола. Така, со нанотехнологија е можно да се изградат транзистори од органски молекули и од неоргански наноструктури. За поврзување на овие нанотранзистори се користат нанопроводници. Останува да се реши проблемот како сите компоненти на таков систем да функционираат како целина со цел да се изведуваат логични и аритметички операции. Полупроводнички нанопроводници се користат за детекција на гасни молекули на биолошки соединенија. Во медицината наночестичките се користат за транспорт на лекови во организмот. Затоа интересот за наноструктурите сè повеќе се зголемува.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дали терминот коалесценција не Ве потсетува на здружување, а денсификација на згуснување?
2. Кои се принципиелните разлики меѓу процесите пресување и синтерување?
3. Дали густината зависи линеарно од температурата на синтерување?
4. Зошто се актуелни нанофазните материјали?

4.6. ПОРОЗНИ МАТЕРИЈАЛИ

Конструкционите материјали треба да покажуваат поголеми вредности на односот *јакост/густина*, а еден од начините е да се намали вредноста на густината на материјалот. Во прилог на тоа оди добивањето материјали со значителна порозност. Притоа пак, е очигледно дека зголемената порозност ќе придонесе да се намали вредноста на јакоста. Релативната добивка или загуба овде ќе зависи од брзините со кои јакоста и густината се намалуваат. Гибсон (Gibson) и Ешби (Ashby), во направениот преглед за целуларни материјали, нагласуваат дека порозните материјали кај некои апликации можат да имаат повисоки вредности на специфичните механички особини во однос на потполно густите материјали. Ваква околност е мошне значајна при авиоиндустријата.

Поради сето тоа денес, се произведуваат најразлични комерцијални апликации од порозни структури, како што се: *високоперформансни филтри, мембрани, електронски сушители, биоматеријали, терморезистори, каталитички сушители, термички изолатори, материјали за гасни пламеници* итн. Иако примарната функција на овие материјали е структурна, многу од овие апликации бараат висок степен на механичка сигурност. Логично е да се претпостави дека со подобрувањето на механичките особини на порозните структури на материјалите, би се отвориле можности за пошироки технолошки апликации. Токму поради тоа и се пристапува кон креирање на порозни структури.

При разгледување на порозните медиуми се сретнуваат термините *идеална, фиктивна и реална порозна средина*.

Идеалната порозна средина се претставува со компактна плоча *проницана* со еднаков распоредени канали, со ист дијаметар и со должина еднаква на дебелината на плочата (сл.1а). Таа не е погодна за претставување на реалната порозна средина.

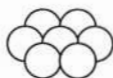
Фиктивната порозна средина е составена од сферни честички со исти димензии, а

од начинот на нивното подредување зависи вредноста на порозитетот (сл. 1б). Фиктивната средина за себе претставува упростен модел на реалната средина, и во прва приближност, дозволува да се процени структурата на порите.

Реалниите порозни медиуми се со посложена структура и за нивно проучување се неопходни поопширни разгледувања. Таа е определена од типот на порите, степенот на нивната дисперзност, дистрибуцијата, формата, ориентацијата...



а)


 $\Pi = 0,476$

 $\Pi = 0,259$

Сл. 1. Шематско претставување на идеална (а) и фиктивна (б) порозна средина

Од аспект на вкупната застапеност на порите, реалните средини се разгледуваат како тврди компоненти во кои егзистираат празни места. Претстава, за реална порозна средина добиена како резултат од синтерување на сферни честиици, се добива ако детално се разгледа сл. 2, како и сликите 3 и 4.

Поимот порозност е во директна врска и со поимот густина на телото. Густината на телото, во општ случај, е определена со односот од масата и волуменот при фиксна локација на соодветното место. Кај порозните тела, дел од волуменот е исполнет со празнини, поради што се воведува поимот *средна или ефективна густина*, која се определува со:

$$\rho = \sum_i a_i \rho_i \quad (1)$$

каде што a_i е дел од волуменот на кој се однесува густината ρ_i .



Сл. 2. Реална претстава за порозна средина со честиици и празни места

Вредностите на порозитетот (Π) се определуваат преку теоретската густина (ρ_t) и измерената густина (ρ_p) на порозното тело:

$$\Pi = \frac{\rho_t - \rho_p}{\rho_t} 100\% \quad (6)$$

изразени во проценти.

Во однос на тврдото тело, порите можат да бидат внатрешни (затворени) - Π_v и надворешни (отворени) - Π_n . На тој начин, вкупната порозност (Π) претставува збир од двете спомнати:

$$\Pi = \Pi_v + \Pi_n. \quad (7)$$

Во еднокомпонентните и еднофазни системи, порите, како и вакансиите, се појавуваат како втора компонента, поточно квази-компонента, составена од празнина. Поради тоа, ваквиот систем е познат како *квази-компонентен* двофазен систем. Значи, тој е составен од тврда фаза како матрица со макро и микропразнини, како и вакансии во кристалната решетка.

КРЕИРАЊЕ НА ПОРОЗНИ СТРУКТУРИ

За креирање на порозна структура со зададен степен на порозност, досега се применувани повеќе различни методи. Тие главно се засновани на правење смеса од

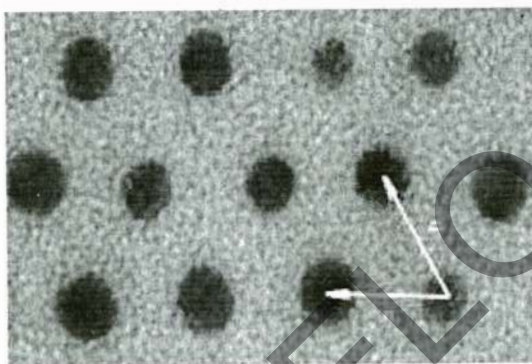
оксиден прашок со некоја запалива супстанција која во текот на жарењето согорува, или пак се користат супстанции кои во тек на термичкиот третман дисоцираат, оставајќи празен простор во крајниот продукт. Како порообразувачи најчесто се користат: *полиуреа*, *полиуретанска* *пена* (сл. 3) како почетен материјал. Внесувањето на полимерниот супстрат се врши или со пресликување на керамичкиот материјал или со нанесување по пат на хемиска парна депозиција. По тоа следува синтерување без притисок на повисоки температури, при што полимерниот материјал согорува, оставајќи порозно тело како негова реплика.



Сл. 3. Креирана континуирана отворена целуларна структура

Друг, често употребуван пристап за креирање на порозна керамичка структура е користењето на *полимерна* (*полиуретанска*) *пена* (сл. 3) како почетен материјал. Внесувањето на полимерниот супстрат се врши или со пресликување на керамичкиот материјал или со нанесување по пат на хемиска парна депозиција. По тоа следува синтерување без притисок на повисоки температури, при што полимерниот материјал согорува, оставајќи порозно тело како негова реплика.

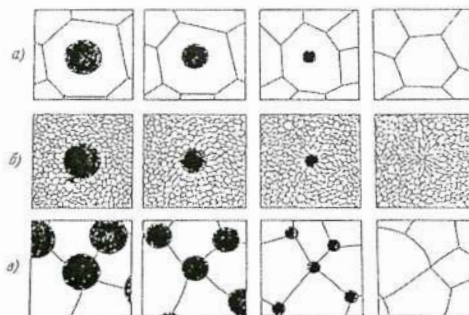
На сл. 4 е претставена успешна креација на порозна структура со карбонски влакна, кои се вградуваат во матрицата пред отпочнување на процесот синтерување. Од дијаметарот и обликот на порите не ретко може да се насети за каков порообразувач станува збор.



Сл. 4. Креирана фиброзно порозна структура

Пората практично може да се наоѓа во сегмент од структурата или во идеален монокристал (сл. 5а), во интергрануларна положба или како дефект во ситнозрнеста структура (сл. 5б) или пак на границите од кристални зрна (сл. 5в). На истата слика се насетуваат и механизмите за нестанување на порите со термички и термичко-механички третман.

Процесот на *зарастување* на пори во аморфни и кристални матрици секојпат е придружено со снижување на енергијата на системот, условено или од геометријата на порите, или од дејството на надворешните сили во однос на матрицата што ги содржи порите. Притоа, транспортот на супстанции низ волуменот на порите, може да биде придружен со т.н. *празов* или *непразов* механизам.



Сл. 5. Шема за положба на пора: а) во сегмент или во идеален монокристал, б) во интергрануларна положба или како дефект во ситнозрнеста структура, в) на границите од кристални зрна

Во групата на *непразови* механизми се вбројува механизмот на вискозно течење на

супстанцијата од аморфната матрица. Нестанувањето на порите од границите на кои се наоѓаат е одредена со кинетиката на залечување. Суштината на овој механизам е преместување на масата од границите кон внатрешноста на порите или соодветен поток на вакансии од границата на пората низ границите на зрната.

За разлика од непреговиот механизам на зарастување каде надворешниот хидростатски притисок не е земен предвид, при механизмот на т.н. зарастување кај *праговиот механизам*, надворешното напрегање има суштинско и основно влијание на процесот на зарастување. Овој механизам може да биде претставен како провоциран притисок врз распаѓањето на порите во вид на призматични вакансии од надворешни услови. Понатамошното изложување на надворешни влијанија (p, T) може да придонесе до појава на полигонизација, формирање на пукнатини, а со зголемување на температурата изворот на вакансии може да се оддалечи од пората. Кинетиката на зарастување на пори со прагов механизам може да биде опишана како преку феноменолошки постапки, така и преку користење на конкретни модели со и без транспорт на маса.

Феноменолошкото опишување на зарастување на влијанието на сестран притисок во изотропна средина го користи механизмот на пластично течење на супстанцијата. При тоа детално се опишува пластична зона и зона на квазивискозно течење.

Експерименталните истражувања за влијанието на притисокот и температурата врз зарастувањето се вршат со металографска и рендгенструктурна анализа, при што се покажува дека при одредено зголемување на вредностите на притисокот и температурата доаѓа до дисперзност на порите. Дисперзноста во околината на пората условува премин од дисперзен механизам кон изотропно вискозно зарастување на порите.

Во последно време сè поголема улога им се дава на материјалите добиени со неконвенционални постапки каде што припаѓа и вонпечната металургија и технологија каде се разработуваат различни постапки за добивање на материјали со прогнозирано својство. Овде посебно е издвоена прашкастата металургија каде од метални честички во прав со компак-

тирачки и денсификациони постапки и нивни комбинации се добиваат метало-керамички материјали.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Набројте некои порозни структури со кои секојдневно се сретнувате и опишете го облокот на порите.
2. Што се случува со порозноста при покачување на температурата?
3. Според слика 5 објаснете што се случува со порите на (темните кружиња) во зависност од нивната положба?

4.7. ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ

Поради своите конструкциско-технички карактеристики, нивната ниска цена и необичните физички својства, полимерните материјали заслужуваат посебно внимание.

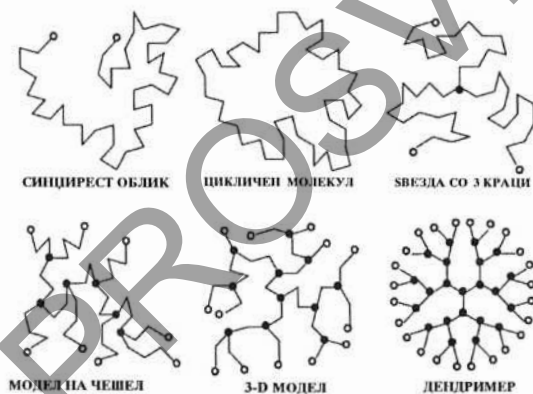
Полимериите *прејисјавуваат високо-молекуларни соединенија, составени од макромолекули кои содржат по десетици и повеќе илјади атоми*. Макромолекулите изградени од одделни атомски групи, подредени помеѓу себе како алки во синџир се наречени *линеарни макромолекули*. Примерок изграден од таков вид на макромолекули е наречен *полимер*, а групата на атоми што се повторува е *мономер*. За полиетиленот $[-H_2C-CH_2-]_n$ мономер е CH_2-CH_2 (етилен), за поливинил хлоридот $[CH_2-CHCl]_n$ мономер е CH_2-CHCl (винил хлорид). Симболот n го означува бројот на повторување на мономерот.

Според положбата на страничните групи, полимерите можат да бидат: *иактички* (регуларни) - со правилен редослед и *аиактички* (нерегуларни), кај кои страничните групи се хаотично распоредени. Тие и припаѓаат на групата аморфни полимери.

Страничните групи можат да бидат формирани од атоми на елементи (H, Cl,...) или радикали (OH-, CN-, C₆H₅, ...). Освен ваквото доминантно линеарно конципирање на полимерните молекули, понекојпат се создаваат и сферни структури кои предизвикуваат посебно внимание. Органските полимери претставуваат најголема група на полимерни материјали и доколку основниот синџир е од C-атоми тие се наречени карбонитни полимери. Формата на макромолекулите може да биде мошне различна. На сл. 1 се претставени: *линиска (синџиреста)*, *циклична (затворена)*, *свездаста, гранжеста, просторна и дендридна структура на макромолекулиите*.

Формата и димензиите на надмолекуларните структури имаат големо влијание на цврстината на полимерите. Примерок со мали димензии на *сферолити* (макромолекули со сферна форма), на пример, покажува поголема цврстина и има повисоки вредности на еластичните модули, што не е случај со покрупните сферолити кои се кршливи и полесно се дезинтегрираат.

Синтетизирањето на полимери се одвива преку усвоени полимеризациони процеси при што можат да постигнуваат огромни димензии.



Сл. 1. Разни облици на полимерни структури

Фаза состојба. Во општ случај, а во зависност од температурата, полимерите можат да се наоѓаат во тврда и течна состојба. Тврдата состојба, која има дефинирана геомет-

рија, настанува кога енергијата на меѓумолекуларното дејство по вредност, ја надминува енергијата од топлотното дејство на молекулите.

Најчесто кај полимерните материјали, феноменолошки се разгледуваат четири физички состојби: *кристална, аморфна, вискоеластична и течна*. Нивната меѓусебна поврзаност е претставена со блок-дијаграмот на сл. 2.

Поради големите димензии на полимерните молекули, температурата на испарување им е доста висока (поради тоа е неопходна огромна енергија за испарување на полимерните молекули). Од тука за сите полимери температурата на дезинтеграција е многу пониска од температурата на испарување. Практично кај нив, гасна фаза не постои.



Сл. 2. Блок-дијаграм за поврзаноста на физички состојби на полимери

Важно е да се истакне дека при фазните премини на полимерите (посебно кај топењето, рекристаклизацијата,...), доаѓа до нагли промени на особините на полимерите, како што се: специфичниот или молекулскиот волумен, внатрешната енергија и др. Овие промени се случуваат за сметка на доведување топлина (при топење или испарување) или ослободување топлина (при кристализација).

СВОЈСТВА НА ПОЛИМЕРИТЕ

Полимерните материјали не ретко претставуваат замена на природните материјали, поради што е неопходно подетално познавање на нивните својства. Тоа е неопходно не само од аспект на изборот на компонентите, туку и технологијата на добивање и поведението при употребата на дадениот материјал.

Својствата на полимерите можат да се поделат во три меѓусебно поврзани групи: *фундаментални својства, својства од значење при преработката и својства на готовите производи.*

Самите имиња покажуваат дека фундаменталните својства се однесуваат на карактеристичните својства на супстанцијата, додека со својствата на производот се карактеризираат уште и обликот и други естетски и геометриски показатели. Основно е тоа што врз карактеристиките на некое својство пресудна улога имаат методите на добивање, начинот и условите на неговата финална преработка. При тоа треба да се внимава дека својствата се последици на хемискиот состав и структура.

За изработка на технички производи со карактеристични својства, на полимерите им се додаваат соодветни адитиви како што се: *стабилизатори, појолнувачи, пластификатори, зацврстувачи, обојувачи* и др. Имињата асоцираат на улогата на употребениот адитив. Според изборот на адитивите, својствата на соодветните полимери, можат во значителна мерка да бидат модифицирани. Така добиените материјали се сретнуваат под името пластични материјали или *пласт-маси*.

Механичките својства на полимерните материјали го карактеризираат полимерот при неговото однесување. Тие зависат од неговиот хемиски состав, молекулските фактори (молекулската маса, вмреженоста, видот на мономерите, содржината на адитивите и примесите,...), структурните фактори (кристалната состојба, ориентираноста, големината на кристалот,...), како и времето и температурата. За разлика од металите, стаклата или керамиките, полимерите (поради нивната карактеристична молекуларна и надмолекуларна структура) се одликуваат со способност

на висок степен на повратна деформација, карактеристична за определен температурен интервал.

Еластичноста на молекулите драстично се менува со промена на температурата. При зголемување на температурата се зголемуваат топлинските движења, при кои полимерот покажува поголема надворешна деформабилност.

Во однос на дејството *напрегање-издолжување* полимерните материјали покажуваат *хистерезисно однесување*. Поради овие а и некои од досега споменатите карактеристики, полимерните материјали неретко се вбројуваат во материјали со функционални својства а на некои од нив им се прикачува и етикета на *паметни материјали*.

Според своите **електрични својства** полимерните материјали се типични диелектрици, но за изненадување тие неретко покажуваат спроводничко, полупроводничко, па дури и суперспроводничко однесување.

Интересно е што полимерни материјали со посебна структура се сретнуваат како нови *полимерни материјали*. Нивната полимерна структура е необична.

Биополимерите претставуваат полимерни материјали кои се сретнуваат кај биоорганизмите, но и се синтетизираат во биохемиски лаборатории, а врз основа на постоечките макромолекули кај живите организми. Структурата на биополимерните материјали е мошне хиерархиска.

На почетокот на 21 век е зголемен интересот кон истражувањата на биополимерите поради:

- функциите на поддржување на разни биопроцеси во живите организми;

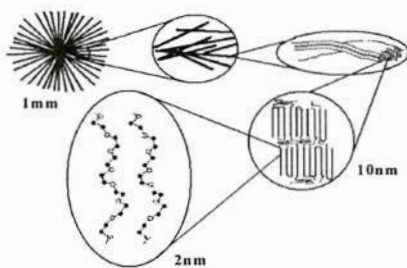
- интелигентноста (поради реверзибилноста, сензорство, асоцијативност, синергетика) што се применува во медицината и фармацијата за транспортирање улога на медикаментите,

- замена на досегашната еластична амбалажа со еколошки полимерни материјали за да не дојде до деградација на природата и зачувување на биодиверзитетот;

- моделирање и добивање на полимерни

материјали за конструирање на ефикасни биомембрани и вештачки органи.

Функционирањето на синтетичките биополимери е во директна поврзаност со биопотенцијалите, биосензорите и сложените регулациони процеси во биоорганизмите засновани на повратната врска. Специфичните функции на биополимерите е можно да се управуваат и со надворешни биосигнали.



Сл.3 Фармацевтски семиполимер

Освен кристалните и аморфните полимери, посебно внимание привлекуваат полукристалните полимери кои се сретнуваат во специјални апликативни подрачја како што е фармацевтската индустрија. На сл. 3 е дадена шема за микроструктура на полукристален еликоп.

Биостабилните полимерни имплантанти треба да бидат биокompatibilни и физиолошки инертни.

Напорите во последната деценија се насочени кон производство на биодградибилни полимерни материјали, поради се поголемото загрозување на животната средина со трајни пластични материјали. За обезбедување на такви дградибилни материјали на краевите на полимерниот синџир, тие треба да имаат такви хемиски групи кои ќе бидат способни за оксидација со ензими од микроорганизми. Се проучуваат и фотодеградирачки процеси (со помош на ултравиолетна светлина) и кополимери на биополимерни макромолекули, добиени од целулоза, скроб, полисахариди и др. Така, веќе се користи производство за макромолекулот на полилактична киселина од млечнокиселински бактерии со процес на ферментација, а од таков биополимер веќе се

произведуваат амбалажни материјали со задоволувачки квалитети. Полимерите засновани на протеини се дградибилни во солени средини и затоа такви исфрлени материјали во солени (морски или океански) средини, можат да влезат во синџирот на исхраната во водниот екосистем.

Многуслојните структури можат да се користат за добивање на полимерни мембрани. Нивната примена е незаменлива во микрофилтрацијата.

Повеќето полимерни материјали наоѓаат широка примена во електрониката, како квалитетни изолациони материјали.

Современата наука за полимерите е насочена кон повеќе правци на истражување со цел:

- да се добијат материјали на успешно дозирани полимери,
- да се добијат примероци со различна морфологија и можност за менување на нивните својства од пластичност до еластичност во зависност од потребите,
- да се развијат теоретски модели за детално опишување на овие нови полимерни материјали.
- добивање и примена на такви материјали без било какава краткорочна или долгорочна штетност за човекот и неговата околина.

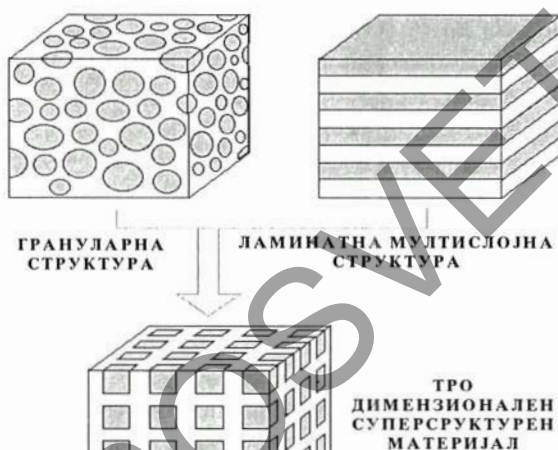


ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Обидете се да направите модел за тактичен и атактичен полимер!
2. Од што зависат својствата на полимерот?
3. Што е приоритетно кај полимерните материјали над останатите?
4. Што треба да задоволува биомимплантатот?
5. Дали знаете дека синергичката се занимава со проучување на сложени системи со тенденција на самоорганизација?
6. Што да се прави за заштита на средината од полимерни материјали?

4.8. КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Композитен материјал во општ случај претставува *хиприд* од матрица на еден материјал армиран со: дисперзни честички (или гранули), ламинати или друг облик материјал (сл. 1). Според формата, вградените компоненти во матрицата можат да бидат со нулти димензии (точкест облик), кои во трите димензии имаат многу мали вредности, еднодимензионални (vlakнест/стапчест облик) кои имаат по две димензии со ниски вредности, а третата има поголема вредност. Кај дводимензионалната или ламинатна структура (која може да биде плетеница или ткаенина две димензии имаат поголеми вредности, а третата е со мали вредности.



Сл. 1. Шема за три модели на композитен материјал

Композитот е сложен материјал чии својства се разликуваат од својствата на компонентите што учествуваат во него. Композитни материјали во природата се сретнуваат на повеќе места но најочигледен е примерот со дрвото (стебло, гранка, лист) и коските на човекот и другите живи организми.

Својствата на композитните материјали во основа зависат од физичко-механичките својства на компонентите и стабилноста на нивната меѓусебна поврзаност.

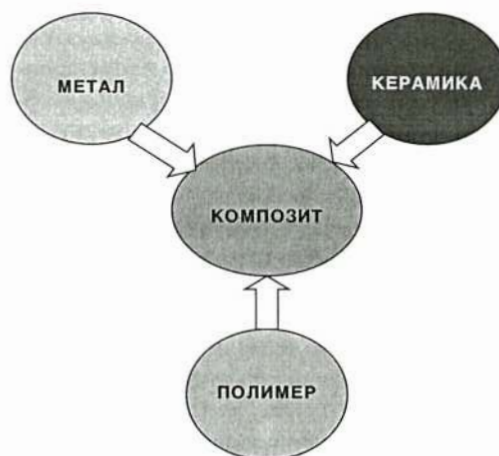
Основата на композитниот материјал – *матрицата*, може да биде од метал или легура (на метална основа), од пластичен материјал, или керамички материјал (на неметална основа).

Металните, керамичките и пластичните материјали можат да бидат еднофазни или повеќефазни. Но, композитните материјали секојпат се повеќефазни, а најмалку двофазни. Макроскопски тие се хомогени, а микроскопски квазихомогени. Фазите или компонентите во случај на нестабилност на системот односно на термохемиска нерамнотеженост на композитниот материјал, припаѓаат најмалку на две главни групи на материјалот. Тие зависат од комбинациите на употребените материјали (сл. 2) како што се:

- метал - керамика
- керамика - пластика и
- пластика - метал

Композитен материјал на основа на керамика и метал се сретнува под името *кермет*. Акронимот е добиен од првите три букви на конститутивните материјали, од кои зависат неговите својства.

Од макроскопски аспект нехомогените фази или компоненти не претставуваат композитни материјали.



Сл. 2. Блок шема за материјали учесници во композитни структури

На сл. 2 е дадена најопшта поделба и поврзаност на конструкционите материјали направена во зависност од составот и структурата.

Матрицата на композитниот материјал ја дава неговата форма. Од својствата на матрицата во голем степен зависи технолошкиот режим на добивање на композитот, а исто така и неговите експлоатациони карактеристики како што е работната температура, стабилност од разрушување, заемнодејство со околната средина, густината и сл.

Вградената (армирачка) компонента рамномерно е распоредена во матрицата. Доколку има улога на втврдувач, таа треба да исполнува соодветни услови на: тврдина, кртост, еластичност, напрегање, стрес и сл.

Дисперзните композитни материјали се добиваат на тој начин што дисперзните честички (гранули) рамномерно се дистрибуираат во матричниот материјал во течна состојба, а потоа се врши процесот на ладење. Во групата на дисперзни честички со високи точки на топење припаѓаат: *оксиди, нитриди, бориди, карбиди* (како што се Al_2O_3 , SiO_2 , BN, SiC и др.). Таквите дисперзно тврди материјали можат да се добиваат и по методите на прашочната металургија. Застапеноста на дисперзните честички во нормални услови е помала од 30 волуменски %.

Кај дисперзно тврдите композитни материјали, основните напрегања ги добива матрицата, а честичките го спречуваат движењето на дислокациите (хемиска несовершеност во која доаѓа до sukcesивно одемстување на атомите), поради приложените сили на напрегања и ја намалуваат пластичната деформација. Колку што е поголем пружениот отпор, толку е поголема цврстината на композитниот материјал. Според тоа, цврстината зависи исто така и од дислокационата структура формирана при подготвката на материјалот. Освен од волуменската концентрација на дисперзните честички, цврстината на композитот зависи и од дистрибуцијата, а со тоа и од растојанието помеѓу честичките. Според формулата на Орован (Orowan) отпорот на смолкнување (σ) се зголемува со намалување на растојанието помеѓу честичките (l):

$$\sigma = \frac{Gr}{l} \quad (1)$$

каде што G е модулот на торзија, а r средна големина на радиусот на честичката.

Во **vlakнесто-композитните материјали** како армируно средство често се користат влакна или стапчести материјали од чисти елементи или високотопливи соединенија (B, C, Al_2O_3 , SiC, ...), како и високотопливи метали или легури (Mo, W, Be, ...). Средниот дијаметар на употребените влакна најчесто е помал од стотина микрометри.

Влакнесто-композитните материјали се делат на: еднонасочни композити со непрекинати влакна ($l/d=10^3$; каде што l се однесува на должината, а d на дијаметарот на влакното), *композити со крајки влакна и композити со непрекинати влакна - ориентирани во повеќе насоки.*

При подложување на надворешни сили, напрегањата се распоредуваат како на влакната (индекс- v) така и на матричниот (индекс- m) дел. Односот на приложените сили на влакната (P_v) и на матрицата (P_m) доведува до појава на соодветни напрегања σ_v и σ_m кои се опишуваат со релацијата:

$$\frac{P_v}{P_m} = \frac{\sigma_v V_v}{\sigma_m (1 - V_v)} \quad (2)$$

каде што V_v е волумен на влакното.

Модулот на еластичност на композитниот материјал (E_{KM}) може да се определи со помош на математичкиот израз:

$$E_{KM} = E_v V_v + E_m (1 - V_v) \quad (3)$$

каде што E_v се однесува на модулот на влакната, а E_m за модулот на матричниот дел.

Во зависност од изборот на влакното, неговата еластичност, цврстина, термоотпорност, густина, адхезионост кон матрицата и сл., се добиваат и соодветни композити со посебни својства.

Матричните материјали од SiC, Al_2O_3 , SiN и мулитот (сложено соединение од: Al, Si и O) му обезбедуваат на композитот можност за работни температури од 1700°C .

Јагленородните и графитните влакна, поради можноста за термичка стабилност на температура од 2500°C , претставуваат посебен предизвик при истражувањата и примената на композитните материјали.

БИОКОМПОЗИТНИ СТРУКТУРИ

Ретко се сретнуваат такви сложени и функционални структури како што се композитните биоматеријали. Тие се присутни почнувајќи од ниво на клетка, како основен елементарен конституент, па сè до најкрупните органи или делови на растителниот и животинскиот свет. Сидовите на клеточната мембрана, на пример, претставуваат необично *елегантна композициона структура*, а во зависност од типот составена е од различни видови на молекули вклучувајќи *фосфолипиди, мембрански и гликопротеини, цитоскелетни мрежа* итн.



Сл. 3. Композициона биоструктура на јајаква мрежа

Коската претставува смеша од органски и неоргански материјали, во прв ред *ајатини* и *протеинска матрица*. Мекото ткиво, пак, содржи *еластин* *меланин* и *протеински структури* со различни механички својства.

За да се добие претстава за сложеноста на биокомпозитните микро структури згодно е да се погледа биоструктурата на пајаква мрежа претставена на сл. 3. Од сликата се гледа дека тоа претставува *хиерархиски биоматеријал*, карактеризиран со различни биоструктури. Се забележува егзистенција на региони со кристални протеински матрици со големина од неколку десетици нанометри, како и квази периодични нанометарски слоеви од мешани т.н. *β ленти*. Аранжманот на *полипептидни ланци* кој е својствен за овие структури им обезбедува високи вредности на јакост и водоотпорност.

Примена. Композитните материјали се применуваат во повеќе индустриски области, особено во авионската, космичката, автомобилската, нуклеарната и ракетната техника, каде што се неопходни терморезистентни, цврсти и лесни материјали. Поради својата јачина и тврдина, тие се користат кај хоризонталните стабилизатори, коморите за согодување, контејнерите и моторните лопатки на разни видови авиони и сл. Поради ниските вредности на густината, тие ја намалуваат масата за 30-40%, со што во автомобилската и авионската индустрија и железничкиот сообраќај, се постигнуваат значителни заштеди.

Од *еколошки причини* не ретко потребно е добивање на *композитни материјали* добиени или по пат на *рециклирање* или по нивната употреба тие лесно да бидат *самодеградибилни* или *рециклирабилни*. Во последно време посебно место се отстапува на композитите од аспект на зачувување на животната средина каде од *еколошки аспект* им се дава предност на т.н. *зелени композити*. Се сретнуваат разни видови композитни материјали како што се пропиленските од типот на *“all-PP” композити, авиокомпозити и биокомпозити*. За сите карактеристично е тоа што покрај респектабилните својства имаат и лесно се деградираат по нивната употреба.

Зелените композити како биопродукти (со учество на влакнести структури од: памук, лен, јута, бамбус,...), поради нивната структура не е лесно да се рециклираат и повеќекратно употребуваат, но по нивната употреба, поради самодеградибилноста, не ретко тие се користат за зголемување на квалитетот и плодноста на почвата.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Каао се однесуваат керметите во однос на електроспроводност?
2. Што претставува квазихомогеност кај композитен материјал?
3. Да се набројат неколку биокомпозитни материјали!
4. Зошто се приоритетни *all-P* композитите?

4.9. ИНТЕЛИГЕНТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Сè почесто и на повеќе места материјали заменуваат машини. Фактички таквите материјали се наречени функционални. Тоа произлегува оттаму што определени супстанции ги менуваат своите карактеристики под влијание на надворешни *стимулајтори*: електрични сигнали, магнетно поле, светлина, температура, звук, агресивност на средината. При такви околности тие постануваат *прекинувачи, меморирачи, вентили или филтри*, без додатни механички делови за придвижување. Во комбинација на такви сензори со микропроцесори се добиваат интелигентни системи. Овде нема да стане збор за системи со вештачка интелигенција чија секојдневна употреба е многу распространета, туку вниманието ќе биде задржано само на некои од интелигентните материјали.

МАТЕРИЈАЛИ ЗА ЗАПИШУВАЊЕ И ЧУВАЊЕ НА ИНФОРМАЦИИ

Светот во последно време е *"преплашен"* со информации од најразличен вид. Фактички, тие претставуваат составен дел на информатичкиот период. Просторот на пример, е исполнет со невидливи: радио, телевизиски, телефонски, или интернет линии кои завршуваат кај приемниците на милиони поединци или семејства. Значењето на транспортот на таквите информации е занемарливо во однос на нивното складирање со намена за понатамошно и повеќекратно користење.

Поради енормноста на информациите, а за намалување на просторот за сместување, е потребна нивна трансформација со цел за поголема микроминијатуризација. Само за илустрација, во последната деценија можноста за зголемување на густината на сместување на информациите на хард диск кај компјутерите, на секои три години се зголемува за два пати. Почнувајќи од аудио и видео касетите, дискетите, компакт-диските-CD и хард диските сместувањето на податоците е со магнетна

технологија. Но поради зголемените потреби, лимитирачката микроминијатуризација и брзината на употреба на информациите, рамките на овие мемории се стеснуваат.

Ласерската светлина поминува низ поларизациони филтри со цел електромагнетните осцилации на светлината да се сведат во една рамнина. Кога таквата ќе се рефлектира од магнетен медиум, во зависност од насоката на магнетизација, доаѓа до извесно свртување на рамнината на поларизација (*Керов /Kerr/ магнетно-оптички ефект*).

Насоките на овие технологии не вршуваат со досега спомнатото. На повидок е тридимензионалната (3D) технологија кон која се насочени сите истражувања во последно време. Таа претставува извесна модификација на холографската технологија кај која информациите се сместуваат на поединечни блокови на *фотосензитивни* материјали.

На почетокот беа респектабилни *холографски мемориски* материјали, кои припаѓаат на класата фероелектрици, но се покажа дека тие не се идеално погодни од технолошки аспект. Во последно време (од 1994) како алтернативни *фотосензитивни материјали*, се појавуваат определени органски полимери т.н. *фотополимери* кои ги менуваат хемиските својства, ако се изложуваат на светлина. Таквите материјали треба да исполнуваат услови за создавање и пренесување на електрони и празнини како резултат на изложувањето на светлина и да се однесуваат како медиум за транспорт на носителите. При отсуство на светлина тие треба фиксно да ги задржат своите места сè до моментот на повторно осветлување и отчитување на информациите, со цел да се обезбеди реконструкција на холограмот.

ХРОМОГЕНИ ПАМЕТНИ МАТЕРИЈАЛИ

Хромогените материјали поради својата посебна функционалност и апликативност се вбројуваат во групата на *паметни материјали*. Благодарение на нив цели видови на згради ги менуваат боите, а тоа се случува и со промена на боите на автомобили, авиони, рекламни паноа, монитори итн. Самата технологија

довела до тоа нивната функционалност да се должи на суспендирани честици од супстанции со способност за *електрохромизам* (ефект заснован на промена на бојата со промена на електрично поле), а се познати како *електрофорејници*, потоа фазно дисперзирани течни кристали, како *термохромници* (промена на боја со промена на температурата). Посебно место им припаѓа на *фотохромните материјали* кои ја менуваат бојата со изложување на ултравиолетна илуминација или со промена на фреквенцијата на озрачувањето. Хромогените материјали еволуираат почнувајќи од полиалкални стакла со додаток базиран на преодни метални оксиди како VO_2 со можност за промена на бојата но и транспарентноста) со промена на температурата. Посебно место наоѓаат во авиоиндустријата, со цел за промена на емисивноста од површината со загревање. Со додавање на органски термохромни обојувачи ове материјали се користат како *температурни индикатори*.

При развојот се појавуваат *хидрогели* или *полимерни бленди* кои поради своите нагласени физички промени со загревање имаат улога на *термоирозис* т.е. можат да доведат до скренување или прекинување на оптичноста со температурата. Постојат и многу други хибридни видови како *фотоелектрохромници* базирани на *хромсензитивност* на *наносруктурни компоненти*.

Помасовно користење на електрохромните направи започна по 1990 год. поради што започна развој на разни технологии. Една од нив е површинската глазура со што се обезбедуваат специјални покривки на електрохромниот материјал. Интересно е што електрохромните материјали со променети оптички својства, можат да бидат вратени во оригиналната форма со *реверзибилно поле*. Тие имаат неколку издвоени карактеристики:

- мал прекинувачки напон (1-5 V),
- пројавување на спекуларна рефлексija,
- поседување на сива скала,
- определена моќ за време на прекилот,
- покажување на прилагодлива меморија од 12-48 часа.

Типичните електрохромни направи имаат повисока видлива трансмисија од $T_V=25-10\%$,

во видливиот дел на спектарот. Ниво на транспаританција е можно и до 1%. Во групата на попознати електрохромни супстанции припаѓа $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$.

Постојат и гасхромни супстанции кои се сместуваат во прозорските двојни стакла, а се способни да ја менуваат не само транспарентноста, туку и колоритноста на амбиентната светлина. Таквите прозори се сретнуваат под името *интелигентни*. Притоа неретко доминатна улога му се придава на WO_3 со чија помош се обезбедува сива боја, за што е потребно да се обезбеди неопходна слоеста структура.

Сите *редокс активни* и *електрично спроводни* полимери се потенцијални *електрохромни филмови*. Повеќето од нив се ароматични системи како *полианилинои*. Тој припаѓа на групата т.н. органски метали. Тие се (зелено) транспарентни и имаат висока спроводност освен кога нивната дебелина изнесува 1 μm .

МАТЕРИЈАЛИ СО ЕФЕКТ НА ПОМНЕЊЕ ФОРМА

Феноменот *ефект на помнење форма* претставува еден од *најинтересните феномени* во науката на материјалите. Фактички главна и уникатна особина на материјалите што имаат способност за меморирање на форма е можност за заемна трансформација на три физички величини: *механичко напрегање* (σ), *деформација* (ϵ) и *температура* (T). Притоа, ако на некој начин се дејствува на една од овие три величини, доаѓа до промена на другите две. Ефектот на дејството врз останатите величини не зависи толку од количеството на дејството, туку од неговата сукцесивност, поради што во материјалот се појавува широк спектар на сили и деформации. Тоа особено се манифестира при промената на температурата, кога доаѓа до егзистенција на реверзибилни процеси, кои се главна причина за ефектот на помнење форма.

При промена на некои надворешни услови (температура, светлина, притисок) доаѓа до промена на однесувањето на материјалите. Тоа однесување најчесто е во дадени предвидливи рамки. Со загревање на пример, по правило доаѓа до промена на димензиите на материја-

лите. Ова се должи на зголеменото осцилирање на атомите поради покачената температура. Во извесна смисла овој феномен е како и ефектот на биметал (заснован на различниот термички коефициент, почесто употребуван за термостат во апаратите за домаќинството), кој има извесна *памет*, поради враќањето при определени услови во претходна форма пред загревање. Уникатност претставува однесувањето на паметните материјали кое не се вклопува во стандардни рамки. Неретко е потребно да се одреди степенот на реалното однесување поврзано со *реалната интелигенција* на определен материјал.

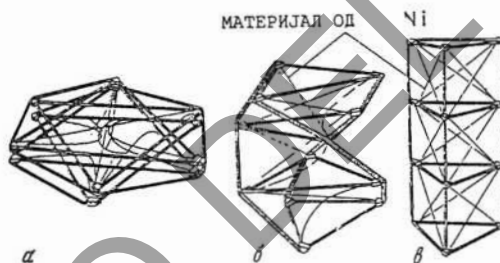
Објаснувањето на овој ефект ќе биде олеснето ако се послужиме со некој пример. Од метали или легури, на повеќе начини може да се добие предмет со определена форма. Во општ случај предметот си ја зачувува оваа форма се до растопување или пластично деформирање. Но дали е тоа секогаш така?!

Во текот на т.н. $A \leftrightarrow M$ (аустенично $\leftrightarrow$ мартензитно) фазна трансформација материјалите со мемориски својства се способни да акумулираат или емитираат топлинска енергија во зависност од амбиентната температура, т.е. поседуваат егзо и ендотермни ефекти, но што е уште поважно доаѓа до поместување на атомите и нивно повторно враќање на претходните места по престанувањето на трансформацијата. Карактеристично за овие материјали е постоење на карактеристична температура на $A \leftrightarrow M$ трансформацијата која се сретнува под името критична температура T_c . На критичната температура материјалите се лесно деформабилни, што е мошне значајно за нивното оформување.

Ваквата особини на материјалите се користат за оригинални решенија на повеќе проблеми. Херметизацијата на разни чувствителни делови (електронски микроеlementи и сл.) е една од овие оригиналности. Овој механизам се користи и при монтирање на конструктивни делови и цевкасти инсталации на морското дно каде поради зголемување на дијаметарот на внатрешната цевка доаѓа до силно спојување на наставените цевки.

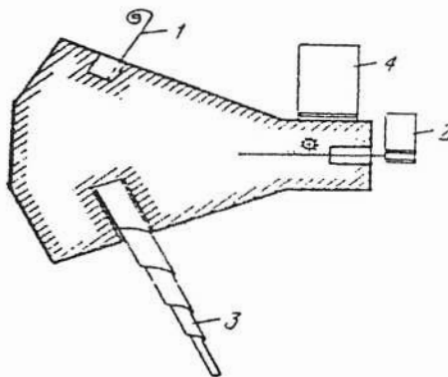
Ефектот на помнење форма може да се искористи за изградба на конструкции на недостапни места. Во соодветна хала се прави

потребната конструкција. Се лади на температура под T_c и според потребите конструкцијата се деформира. Потоа се транспортира на определено место, каде што по загревањето на температури повисоки од T_c , конструкцијата си ја воспоставува првобитно запомнетата форма (сл. 1).



Сл. 1. Механизам на воспоставување на конструкциска форма од материјал (TiNi) со ефект на помнење форма

Способноста за помнење форма посебно доаѓа до израз при космичките истражувања. Разни антени (1,3), извори - колектори на сончева енергија (4), средства за стабилност на космичкиот брод (2), сончеви батерии и слично се изработуваат во нивната природна големина и се ладат на температура T_c .



Сл. 2. Заземање на потребна форма на вградени делови на вселенски брод

На оваа температура тие се пакуваат на одредени места на вселенскиот брод што се лансира во космосот (сл. 2). Поради загревањето на вселенскиот брод на температури кои се над критичната ($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$) сите монтирани делови ги заземаат своите првобитни форми и големини).

Вршењето на работа поради преминувањето на материјалите од една во друга форма е искористено за конструкција на т.н *метеориски мојор* чие функционирање се должи само на температурна разлика.

Суперпластичните и супереластичните својства овозможуваат создавање на нови *компресиско-дисторзиски направи*. Тие често се користат во домените на *остеолоџијата* (наука за коскените системи), посебно во *сидо-матолошкајта* *прошешка*, *остеосинтезата*, *кардиологија*.

Нивната оригиналност се должи на воспоставување на запаметната форма на телесната температура, а нивната функционалност има незаменлива улога.

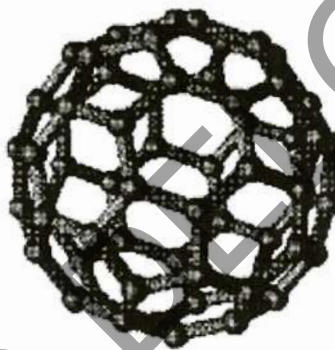
Комплетна претстава за примена на овие материјали е тешко да се добие но, овде ќе биде истакнато дека тие се применуваат и за: чувствителни механички детектори, трансформација на топлинската во механичка енергија (и обратно), како материјали со висок степен на стабилност итн.

Ефектот на помнење форма дава нов правец во физиката на новите материјали и постанува основа за развој на нови техники и технологии што е придонес за побрз развој и на други научни и апликативни подрачја.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. На што асоцира поимот паметен материјал?
2. Што е тоа актуатор?
3. Што се подразбира под поимот термоеластичност?
4. Што е тоа хромосензитивност?

4.10. ФУЛЕРЕНИ

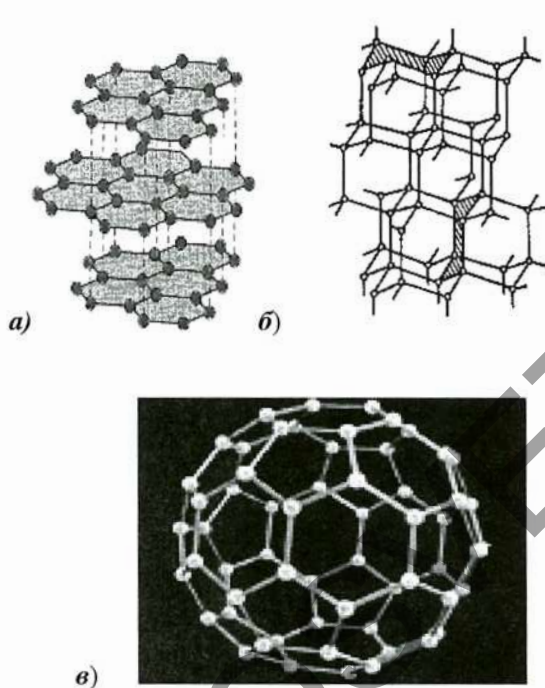


Покрај веќе познатите структури од *C*-атоми: *графит* (сл. 1а) и *дијамант* б) од пред неколку години се поголем интерес привлекува и една необична по изглед сферна форма составена од 60 јагленородни атоми наречена *фулерен*. Станува збор за многу стабилна група од петоаголно/хексагонална кластерна структура од парни и доволно голем број *C*-атоми. Атомите на јагленородот се сместени на темињата на *икоседарој* формиран од 20 шестоаголници и 12 петоаголници, а неговиот изглед е налик на фудбалска топка (сл. 1в).

Ваквата структура на *C*-молекулите на почетокот претставуваше сенига за повеќе научници од областа на хемијата, физиката и науката за новите материјали, поради што се зголемија интересите за истражување и откривање на тајните на овој молекул. И како што често се случува, наскоро по откривањето на молекулот *C*-60, беа откриени и други композиции од сродни молекули: *C*-70, *C*-76, *C*-78, *C*-80, *C*-82, *C*-84, а понатаму овој број на јагленородни атоми се зголемува на 240, 540, 960, со што се добиени гигантски структури наречени *хиперфулери*.

Овие необични молекули поседуваат карактеристични хемиски и физички својства. Тие реагираат со преодни елементи и со слободни радикали-клучни за полимеризациони процеси. Кога во архитектурата на фулеренот се вгради определено, но точно количество, на калиум или цезиум во празните

делови на внатрешноста на кристалот, тој може да стане (најдобриот органски) супер-спроводник. Се покажува дека фулериени кои се соединуваат со алкални метали поседуваат каталитички својства слични со оние на платината. Молекулот C-60 може да апсорбира голем број водородни атоми (скоро по еден-H за секој C-атом), без да дојде до дезинтеграција на неговата структура. Тоа укажува дека фулерените можат да бидат подобар резервоар за водородни атоми од металните хидриди.



Сл. 1. Графитна (а), дијамантска (б) и фулеренска структура (в)

Фулерениите се применуваат кај хемиски сензори, хемиски сепаратори, средства за зацврстување, отвораат нови насоки кон добивање на синтетички дијаманти, катализатори, нови пластики итн.. Тенок слој од фулерен C-70, нанесен на силициумски чип, обезбедува услови за растење на филмови со дијамантска структура. Складирањето на водород наведува на размислување за развој на нови батерии за користење кај еколошките автомобили.

ФУЛЕРЕНСКИ НАНОЦЕВКИ

Јагленородните фулеренски наноцевки (*carbon nanotubes*) претставуваат уникатни нано структури со забележливи електрични и магнетни својства. Интересот за истражувањата на овие цевки во прв ред е фокусиран на нивните електронски својства, од причини што таквите наноцевки можат да се сметаат како прототип на еднодимензионални квантни жици. Фактички, овие цевки претставуваат гигантски фулеренски молекули со шуплива цилиндрична геометрија, со дијаметар кој изнесува неколку нанометри и несразмерна должина во однос на дијаметарот, изградени од посебно подредени јагленородни атоми. Ретко се сретнуваат објекти со такви карактеристични димензии. На краевите од овие цилиндрични структури се наоѓаат сфероидни половинки од фулеренскиот молекул C₆₀ или друга фулеренска структура. Присуството на овие фулеренски затвораи упатува на директна геометриска и структурна поврзаност помеѓу фулерените и наноцевките.

Фактот што на краевите тие содржат делови од фулеренски молекули укажува дека помеѓу нив се вметнува појас од по десетина атоми, добивајќи се на тој начин освен C₆₀ и молекула од C₇₀, C₈₀ итн. Со повеќекратно повторување на оваа постапка се добива силно издолжен молекул чиј облик одговара на оној на наноцевките, кој според димензиите може да биде означен со C-1000000 (C-10⁶).



Сл. 2. Типови на наноцевки

Мотивираноста за добивање молекули со таков облик се должи на нивната почетна структура и електричните полиња, но наследството на таквата подреденост го добиле од својот предок-графитот. Графитот поседува рамнинско-слоеста, саќеста, шестоаголна структура (сл. 1a), каде атомите се сместени на темињата од шестоаголниците. Словите меѓу себе се поврзани со слаби кохезиони врски. Вакви ламинатни-едноатомски структури во определени услови можат да се подредат, не во рамнина, туку во цевка.

Аголот (θ) под кој атомските низи се поставени во однос на линијата на напречниот пресек на цевката е карактеристичен структурен елемент на секоја цевка и ја определува нејзината хеликоидност (просторна спиралност). Од аголот на просторната спиралност и дијаметарот на наноцевката кои ја дефинираат структурата на наноцевката силно зависат својствата на молекулот. Три типа на структури на наноцевки се дадени на сл. 2.

Како почеток за добивање на наноцевки се смета 1991 година кога повеќе слојни (концентрично поставени) структури се добиени во NEC корпорацијата од Сумио Иџима (Iijima S.). Тоа е можно да се реализира во високотемпературни комори (ска 2-3000 °C) кога испарениот јагленород во вид на плазма се кондензира во кластерни структури.

На Универзитетот во Монтпелије е развиена јагленородна лачна (carbon arc) метода за зголемување на монослојните сидови на наноцевките.

Во последно време наноцевките се добиваат со нешто помодифицирани техники и услови. За амбиент се користи аргон и температура во печка од 1200 °C. Јаглеродните атоми од кои се создава наноцевка се добиваат со ласерско испарување на графитна мета, а процесот на расипување на цевката се потпомогнува со дејство на метални катализатори (Co, Fe, Ni).

Нивната улога се состои во тоа да го оневозможи процесот на затворањето на наноцевките со фулеренски кайи, а при тоа да не се спречува нивното растење. На тој начин се добиваат доволно долги наноцевки погодни

за испитувања. Молекулите добиени на тој начин во најголем дел (70-80%) се монослојни.

Повеќе научници во последно време ги насочуваат истражувањата кон здружување и комбинирање на повеќе методи.

Својства и примена

Поради своите уникатни карактеристики од електричен и механички аспект се очекува забележлив пресврт во примената на направи од наноцевки во повеќе области. Уште во 1997 година се покажа дека тие имаат подобра електроспроводност од бакарот, подобра термичка трансмитивност од дијамантот, но и респектабилни механички карактеристики. Во однос на полупроводничките својства, уникатноста им дозволува да најдат примена во микроелектрониката која, поради застапеноста на наноцевките се очекува да *йперасне* во *наноелектроника*.

Со терминологијата на зонската теорија, графитот претставува полуметал, со занемарлив мал енергетски процеп меѓу валентната и спроводната зона, но со многу слаба концентрација на носители на полнежи во валентната зона. Свитканата дводимензионална ламинатна структура во облик на цевка, при еднослоен сид, за електроните претставува ограничено движење во радијални насоки, но постојат ограничувања и по обиколката на кружните линии. Ваквите ограничувања доведуваат до промена во зонската структура и до појава на еднодимензионални подзони. Како последица на тоа, во наноцевките се зголемува аксијалната концентрација на носители поради што тие постануваат добри спроводници. Така се доаѓа до состојба, наноцевките да се појавуваат во улога на *молекули метали*.

И пред појавата на наноцевките се појавувале спроводни молекули, но тешко можат да се вбројат во метали поради нивната дезинтеграција во контакт со вода или воздух. Не сите наномолекули имаат метално поведение. Две третини од наноцевките се со полупроводничко поведение.

Дали наноцевкаста молекула ќе биде метал или полупроводник, зависи од дијаметарот и спиралноста на нејзината хексагонална

решетка. При бавна промена на некој од овие параметри *молекул-цевката* може да се трансформира од метал во полупроводник и обратно.

Според тоа произлегува дека суперспроводните својства во 1-D насока, даваат можност да се добие *аналогон* на MOS (Metal-Oxid-Silicon) или MOSFET-транзистор со ефект на *поле* во кој електроните се движат по должината на површина на тенки дводимензионални слоеви. Напротив овие, други наноцевки се однесуваат како перфектни метални спроводници и претставуваат *нова лабораторија* за студирање на движењето на електроните во една димензија. Двата вида на наноцевкови направи, метални и полупроводни поттикнуваат сигнификантни технолошки апликации.

Интересно и скоковито однесување покажува волтамперската карактеристика на наноцевките што се должи на квантниот карактер на нивната спроводност (слично како со оптичко влакно кое пропушта само определени светлински модови).

Комерцијалниот *поиненцијал* на наноцевките се должи и на нивните уникатни механички својства. Аналогно на јагленородните влакна, се очекува и тие да имаат високи вредности на јакост и еластични модули. Добиењите вредности со теоретски пресметувања, во зависност од користените модели, даваат вредности од 1 до 4 ТПа (*шерапскалин*). Со експеримент на мерење на амплитудите на топлинските треперења на од една страна прицврстена наноцевка во NEC лабораторија во Принстон, е добиена вредност на јанговиот модул од околу 1 ТПа, со што може да се смета и на извесна експериментална поддршка на теоретските резултати. Со такви вредности тие влегуваат во групата на суперјаки материјали во која приоритетно место имаат јагленородните влакна. Но за разлика од нив, тие покажуваат висок степен на флексибилност во однос на виткање, всукување, сплескување, без да дојде до нивна дезинтеграција, при што по престанување на дејството тие се реверзибилни.

На дијаграмот за зависноста напрегање-деформација, кај генерираната еластична сила од деформациите се забележуваат извесни

сингуларности што во извесна смисла отстапува од Хуковиот закон, од каде произлегува дека молекулот се акомодира на надворешниот притисок скоковито, менувајќи го својот облик во енергетски пооптимален. При тоа вишокот енергија се ослободува во вид на акустичен бран кој се шири по неговата површина, поради што наноцевките се нарекуваат и *крчкасти молекули*.

Способноста да бидат свиткани, без нивна кршливост, наоѓа примена кај скенирачката микроскопија и кај т.н. AFM (Atomic Force Microscopy), каде наноцевката се користи како контактен врв на сондата на микроскопот. Во услови кога се очекува добивање на комплексни цевки со макроскопски димензии, се очекува дека наноцевките ќе претставуваат основа за добивање на механички најиздржливи досега произведени материјали.



Х.В.Кројто



Р.Ф.Карл



Р.Е.Смолеј

Тројцата научници: Кројто (H.W. Kroto), Карл (R.F. Curl) и Смолеј (R.E. Smalley) за синтетизирање и откривање на фулеренот во 1996 година ја поделија Нобеловата награда.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Дали е можно добивање на синтетички дијаманти?
2. На што се должи анизотропната спроводност на наноцевките?
3. Зошто фулеренските цевки можат да бидат суперспроводници?
4. Што се тоа "крчкасти" молекули?

5. ФИЗИКА НА ЖИВОТНАТА СРЕДИНА

ФИЗИКАТА И ЖИВОТНАТА СРЕДИНА

НЕКОИ ПРИМЕРИ И ИНФОРМАЦИИ ЗА ЗАШТИТА НА ЗДРАВАТА ЖИВОТНА СРЕДИНА ПРИ ИЗУЧУВАЊЕТО НА ФИЗИКАТА

ГЛОБАЛНИ КЛИМАТСКИ ПРОМЕНИ

ЕФЕКТОТ НА СТАКЛЕНА БАВЧА

ОЗОНСКАТА ОБВИВКА СЕ МЕНУВА

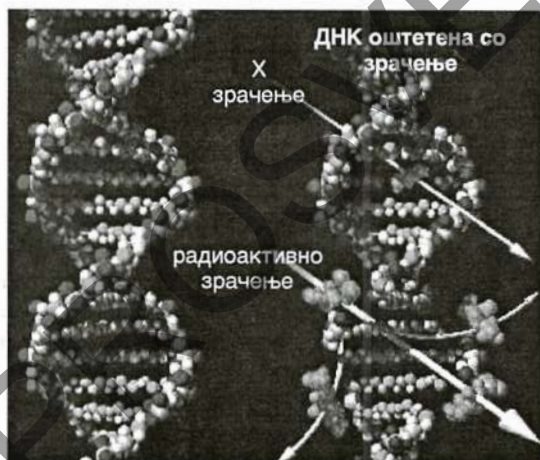
ВЛИЈАНИЕТО НА БУЧАВАТА ВРЗ ЖИВИТЕ ОРГАНИЗМИ

ВЛИЈАНИЕТО НА ЈОНИЗИРАЧКИТЕ ЗРАЧЕЊА ВРЗ ЖИВИТЕ ОРГАНИЗМИ

РАДИОАКТИВЕН ОТПАД

ФИЗИЧКИ МЕРНИ МЕТОДИ И УРЕДИ ВО ЕКОЛОГИЈАТА

АЛТЕРНАТИВНИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈА



5.1. ФИЗИКАТА И ЖИВОТНАТА СРЕДИНА

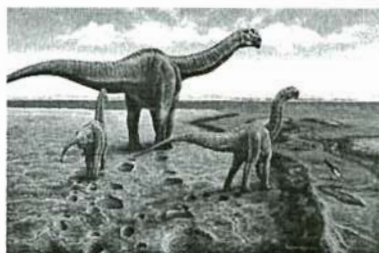
Животната средина денес се подразбира пошироко, тоа не е само неживата природа, туку заедно со сите живи организми и човекот коишто комплексно делуваат и создаваат услови за опстанок, развој и размножување. Така, според некои автори, животната средина во себе ги содржи двата потсистеми: *природна средина (екофера, геосфера)* и преобразениот дел од таа средина што може да се нарече *техносфера*. Оваа условна поделба зависи од кој аспект се проучува животната средина: географски, биолошки, медицински, урбан итн. Во најширока смисла, под животна средина може да се сфати *целокупната биосфера* како најголем и најсложен систем каде сите живи организми имаат сопствена животна средина на различно организациско ниво.

Вкупниот простор на планетата Земја каде што постои живот ја претставува *биосферата*. Нејзините граници не се строго определени; над Земјината површина таа достигнува до 5000 m височина, а во морињата и океаните до 4000 m длабочина, а во *хидросферата* се забележува живот до неколку метри длабочина. Надвор од овие граници постои живот во редуциран обем: на Андите и Хималаите и над 6000 m височина се среќаваат некои видови птици, а во длабоките мориња се среќаваат риби, црви и мекотели кои се хранат со органската маса наталожена на дното.

Прекумерното зголемување на бројот на жителите на планетата Земја неминовно води кон пораст на индустриското и земјоделското производство, прекумерно извлекување на ресурси од земјата што условува деградација на животната средина. Веќе не е можно преку природни процеси да се поврати рамнотежата во биосферата. Во периодот пред индустриската револуција загадувањето на животната средина било од локален карактер (на пример, загадени води и воздух од некоја индустриска постројка), но денес *загадувањето е глобално*. Имено, современата индустрија, сообраќај, агрохемија итн. произведуваат толкави количини на штетни материји кои завршуваат како

загадувачи далеку од местото на производство (преку воздушни струења, водни текови, сообраќајни и други глобални врски). Така може да се случи една земја што не произведува загадување на животната средина да биде погодена од другите каде што тоа се прави.

Голем дел од човековата дејност ги менува еколошките системи на планетата Земја, планините, реките, морињата, поларните капи. Како резултат на таквата активност веќе исчезнале многу видови животни и растенија од лицето на земјата, а загрозен е опстанокот на други (се смета дека во последните сто години исчезнале околу 200 видови од групата на птици и цицачи, а во опасност од исчезнување се околу 600 видови од таа група). Со еден збор, биодиверзитетот (богатството на различни видови живи организми) е загрозен. (Се мисли дека диносаурусите исчезнале поради нагла промена на климата што можела да биде поради судир на Земјата со голем астероид или комета, сл. 1).



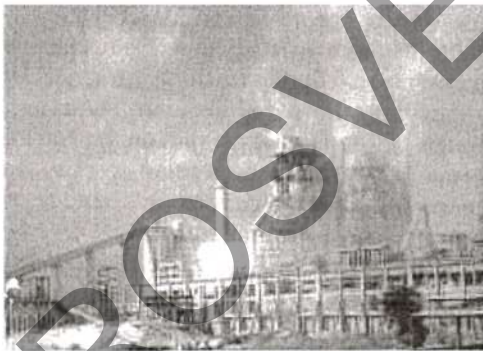
Сл. 1.

Затоа, потребно е делување на човекот за зачувување на здрава животна средина каде што единките ќе ги задоволуваат своите потреби без натамошна нејзина деградација. Санирањето на направените штети мора да се врши што е можно поскоро, затоа што секое одлагање може да предизвика неповратна загуба.

За решавање на проблемите во заштитата на животната средина најпрвин треба да се изучат комплексните меѓузависности на средината и живиот свет во неа. Со тие проблеми се занимава *екологијата, интeрдисциплинарна наука* за животната средина. Во почетокот таа беше само биолошка дисциплина (терминот е воведен од германскиот биолог Хекел во 1866 год.), а подоцна се прошири со области и техники од хемијата, географијата, медицината, физиката итн.

5.2. НЕКОИ ПРИМЕРИ И ИНФОРМАЦИИ ЗА ЗАШТИТА НА ЗДРАВАТА ЖИВОТНА СРЕДИНА ПРИ ИЗУЧУВАЊЕТО НА ФИЗИКАТА

Физиката и другите науки на човештвото му дале знаења, техники и технологии со кои од земјата се извлекуваат огромни количества сировини (руди, фосилни горива, градежен материјал) кои потоа се преработуваат за задоволување на потребите на населението. Но, најчесто, технологиите не водат сметка за она што останува по преработката на примарните сировини и затоа се создаваат *општадни материји* кои не можат да се вклучат во природниот кружен ток на размена, во синџирот на исхрана итн. Како илустрација, според некои податоци, за покривање на енергетските потреби на човештвото во последните сто години, при преработката и употребата, испуштени се скоро 400 милијарди тони CO_2 во атмосферата (сл.1).



Сл. 1.

Многу од процесите што настануваат во биосферата како и нивната стабилност и одржливост, зависат од физичките својства на одделни елементи на биосферата коишто можат да бидат топлински, механички, електромагнетски, радиоактивни итн. Живиот свет опстојува во гравитационото поле на Земјата, добива енергија од Сонцето, размената меѓу единките се врши (покрај другото)

и на молекуларно и атомско ниво, градбата на организмите мора да ги следи физичките законитости.

Може да се каже дека физиката има двојна улога во науката за животната средина. Од една страна, некои нејзини откритија довеле до деградација на животната средина, а од друга страна, физиката постојано бара и изнаоѓа нови методи и техники за детекција и смалување на загадувањето.

Но, задача на физиката во прв ред мора да биде заштитата и унапредувањето на животната средина, а тоа може да биде со:

- изнаоѓање на алтернативни извори на енергија коишто нема да ја загадуваат човечката околина;
- рационално користење на природните ресурси;
- разумна примена и користење на топлинската, електричната и нуклеарната енергија;
- усовршување на методите за детекција на штетните зрачења;
- добивање на нови материјали за заштита;
- откривање методи за смалување на веќе направените штети (смалување на озонската дупка, смалување на концентрацијата на CO_2 и другите полутанти итн.).

Некои законитости во физиката имаат своја директна примена во екологијата. Ќе наведеме некои од нив.

1. *Дифузијата и еколоџијата*. Процесот на дифузија игра голема улога при загадувањето на животната средина. Штетните гасови што се создале на некое место, отровните супстанции создадени во технолошките процеси и друго се распространуваат во атмосферата, водите и почвата во прв ред преку дифузија. Тоа е процес којшто е присутен во сите системи, а се должи на хаотичното движење на молекулите и атомите во еден систем.

Топлинската енергија во биосферата од едно до друго место се пренесува преку *конвекција*. Во полето на Земјината тежа настанува движење на воздушните маси, на водената пареа, а со тоа и на различните загадувачи присутни во атмосферата. Да се потсетиме дека при несреќата на нуклеарната централа

во Чернобил 1986 год. веќе по три дена радиоактивните облаци поради конвекција и воздушни струења стигнаа дури и над Балканскиот Полуостров и предизвикаа радиоактивна контаминација.

2. *Физиката и новите извори на енергија. Заштета и рационално користење на енергетските ресурси.* Денес нужно се наметнува рационално користење на енергетските ресурси: нафтата, јагленот и природниот гас поради сè помалите ресурси, но и поради фактот што овие извори на енергија вршат загадување на биосферата (особено атмосферата). Исто така, и користењето на ураниумот како гориво во нуклеарните центри не е погодно, било поради малите ресурси, било поради нерешените проблеми со радиоактивниот отпад што настанува при неговата употреба. Физичарите имаат главна задача во изнаоѓањето на "чисти" извори на енергија. Во поглавјето 2.10. опишани се некои алтернативни, обновливи извори на енергија.

Кај луѓето полека се развива свеста за заштета на енергијата затоа што е јасно дека со сегашново темпо на трошење на енергетските ресурси, за две-три децении ќе бидат потрошени сите резерви. Можности за штедење на ресурсите има многу. Така, на пример, во градежништвото се користат нови градежни материјали и врзиви средства коишто имаат многу помал коефициент на топлинско-водност со што се смалува загубата на топлинската енергија. Добро изолирани градежни објекти можат да заштејат дури 30% енергија во зимскиот период.

3. *Физика на атмосферата.* Климата во кој било дел на светот е определена според движењето на атмосферските маси и присуството на водената пара, а изучувањето го врши метеорологијата којашто во прв ред е физичка дисциплина. Таму се мерат параметрите на атмосферата: температура, притисок, влажност, брзина на струењата итн. Физичките модели за атмосферата се засноваат на динамички систем во гравитационо поле кој добива енергија од Сонцето. Секоја секунда на 1m^2 на површината на Земјата паѓа средно 1370 J сончева енергија. Загреаниот

воздух се движи нагоре, ладниот паѓа надолу. На овие движења ако се додаде и ротацијата на Земјата, дневно-ноќните разлики во температурите, температурните разлики на половите и екваторот, на морето и копното, влијанието на релјефот..., станува јасно дека настануваат сложени движења во атмосферата што ги условуваат климатските промени. Ете зошто е тешко, а можеби невозможно, да се прават долгорочни временски прогнози. Ова го потврдуваат новите теории за детерминираниот хаос каде што е покажано дека дури и мала промена во еден од параметрите на еден динамички систем (како што е атмосферата) може да предизвика многу големи климатски промени во некој регион ("лејот на Џеј-рујка во Хонгконг може да предизвика бура во Њујорк").

4. *Физиката во отстранување на загадувачите на животната и работната средина.* Методите со кои се одредуваат параметрите на атмосферата, на водите и на почвата најчесто се физичко-хемиски методи. Така, на пример, ако сакаме да испитаеме загаденост на водата, треба да се мерат некои (или сите) од овие физички параметри: температура (термометрија), густина, вискозност, бистрина (рассејување на светлината), електричната спроводливост (кондуктометрија), присуство на радиоактивни материји (дозиметрија на јонизирачки зрачења). Наведените мерења можат да се дополнат со резултати од хемиски методи: киселост и базност, бигорливост, редокс-потенцијал итн.

Кога има потреба да се отстранат некои загадувачи присутни во средината, тоа може да се направи со дејство на некоја сила: *шаложење под дејство на Земјината тежа*, *со центрифугирањето*, *под дејство на електричната сила* (ако честичите загадувачи се во јонизирана состојба), *механички сейрајори* (отпрашување) итн.

5. *Физиката и електромагнетското зрачење. Заштита.*

Спектарот на електромагнетско зрачење е мошне широк, од радиобрановите што имаат најголема бранова должина па сè до рендгенското и гама зрачењето со мала

бранова должина. За влијанието на дел од тој спектар што спаѓа во јонизирачки зрачења се зборува во поглавјето 5.7. на оваа книга.

Овде ќе се задржиме на помалку познатите ефекти поврзани со дејството на зрачењето на телевизиските, компјутерските и други видови екрани и на мобилните телефони што спаѓа во доменот на радиобрановите. Имено, видеотерминалите емитураат зрачење во широк интервал на бранови должини. Отклонските системи на електронскиот сноп во катодната цевка работат во дијапазонот 15-40 kHz. Правени се испитувања за влијанието на овие фреквенции врз здравјето на луѓето, но освен констатациите дека такво влијание има, нема конечни научни докази за тоа.

Од друга страна, екраните на видеотерминалите емитураат светлина и долготрајната работа пред нив предизвикува не само замор на очите, туку се можни и воспаленија, катаракти. За одбегнување на несакани ефекти, се препорачуваат специјални филтри кои покрај интензитетот на светлината, треба да го смалат и електромагнетското поле.

Радијацијата што ја емитураат станиците и апаратите во мобилната телефонија спаѓа во т.н. *нејонизирачко зрачење* чие дејство многу се разликува од јонизирачките зрачења (рендгенското зрачење, алфа, бета, гама зрачењето). Интеракцијата на зрачењата со биолошкото ткиво зависи од нивната енергија (односно, фреквенција). Фреквентното подрачје на мобилните телефони е сместено во доменот меѓу 800 MHz и 2200 MHz. Бидејќи и базната станица и мобилниот апарат се уреди со мала моќност, електромагнетската радијација од нив во општ случај е многу мала, нема толкава енергија да ги прекине хемиските врски, затоа ова зрачење е нејонизирачко. Со право велите дека нема сличност меѓу дејството на јонизирачкото и нејонизирачкото зрачење.

Заради потребата да се најде одговор за можните здравствени ризици за 700-800 милиони корисници на мобилната телефонија (толку се цени дека ги имало во светот на крајот на 2002) правени се истражувања кои имаат за цел да најдат евентуална врска меѓу електромагнетската радијација и ризикот по здравјето на популацијата. Заклучокот е:

"... Изложувањето на популацијата на ова зрачење под дозволената граница не предизвикува здравствени ефекти. Но, научниите сознанија укажуваат дека се можни некои биолошки ефекти коишто не мора да водат кон развивање на болести..."

Размислете: Со дифузија тутунскиот чад се простира насекаде и со тоа не го погодува само пушачот, туку и оние коишто не пушат, а се изложени на тутунскиот чад. Така, пушачите глобално секоја година трошат толкаво количество цигари од кои како отпад се создава: 550.000 тони чад, 600.000 тони катрац, 110.000 тони никотин, 400.000 тони амонијак, 720 тони киселински состојки. Масата на отпушците се цени дека е повеќе од два и пол милиони тони. Пушачите навистина ја загадуваат животната средина. Затоа, некои врвни институции од високата технологија каде се произведуваат чисти елементи, полупроводнички елементи итн. не вработуваат пушачи!



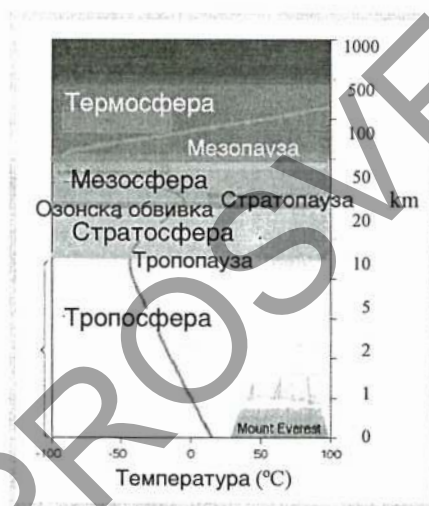
ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Што е биосфера? Кои се нејзините граници?
2. Зошто настанува неминовно загадување на животната средина?
3. Зошто е загрозен биодиверзитетот на живите суштества на Земјата?
4. Со кои проблеми се занимава екологијата?
5. Каква е улогата на физиката во зачувување на животната средина? Што треба да се направи за заштита на животната средина?
6. Зошто е тешко да се врши долгорочна прогноза на времето?
7. Колкав е ризикот од изложеност на нејонизирачките зрачења?

5.3. ГЛОБАЛНИ КЛИМАТСКИ ПРОМЕНИ

Првите научни методи за *климатологијата* – наука што ја изучува климата и нејзините промени, се смета дека се појавиле во 1831 година со воведувањето на новата дефиниција на климата од страна на Александар Хумболт. Според него, терминот *клима* означува *некое специфично својство на атмосферата, кое зависи од непрекинато заедничко дејство на подвижната површина на морињата и зрачењето на површината од сувиот предел на Земјата*.

Бидејќи карактеристиките на атмосферата се една од главните причини што ја определуваат климата во некој регион, да видиме некои нејзини карактеристики. Според теоријата, атмосферата може да се формира околу кое било небесно тело што има доволно јака гравитација.



Сл. 1. Земјината атмосфера

Земјината атмосфера е составена од пет слоја (сл. 1). Таа има динамика на процеси и температурен градиент. Густината и составот на атмосферата се менуваат со висината од површината на Земјата. Најниската обвивка во која живеаме се нарекува *тросфера* (и се протега од површината до 10 km висина). Гасовите во овој слој, се главно, молекуларен

кислород (21%) и молекуларен азот (78%), а во преостанатиот еден процент има аргон, јаглерод диоксид, водена пара и траги од водород, озон, метан, јагленмоноксид, хелиум, неон, криптон и ксенон. Во овој слој е 90% од гасовите на Земјината атмосфера и 99% од водената пара. Кога станува збор за некои соединенија што денес постојат во атмосферата, но се поретки, како, на пример, водород-сулфид или некои оксиди на сулфурот и азотот, се претпоставува дека тие најпрвин се појавиле во околината на вулканите или мучуриштата, а потоа преку струење на воздушните маси, водените или снежни врнежи се пренесувани на поголеми растојанија.

Сите временски промени се случуваат тука. Намалувањето на температурата со порастот на висината е резултат од намалувањето на притисокот. Кога дел од воздушната маса се движи нагоре, се шири за сметка на нискиот притисок, со што се лади. Горниот крај на овој слој е *тросферата*. Најниска е на половите, околу 5 km над површината, а највисока на екваторот – 16 km.

Слојот над тропосферата сè до 50-тиот километар се нарекува *стратосфера*. Тоа е место каде се формира *озонската обвивка*. До стратосферата пристигнува сончевото зрачење со бранова должина под 240 nm и ги раскинува кислородните молекули создавајќи озон (O_3). Озонот достигнува најголема концентрација на висина од 25 km. Озонската обвивка се простира на височина од 11 до 60 km. Таа го апсорбира штетното ултравиолетово зрачење и се загрева (со висината после опаѓање на температурата има пораст, сл. 1).

Слојот над стратосферата е *мезосфера*. Тука температурата опаѓа со висината, достигнувајќи го минимумот од $-90^\circ C$.

Термосферата лежи над мезопаузата и е слој во кој повторно има пораст на температурите со висината, предизвикан од апсорпцијата на UV и X-зраците од Сонцето. На висина од 80 km гасовите се толку ретки што за краток временски период може да постојат слободни електрони пред да бидат заробени од позитивен јон. Постоењето на наелектризираните честици на овие височини, и над нив, сигнализира за почетокот на *ионосферата*, слој кој има одлика на гас и плазма.

Регионот над 500 km од Земјата е **ејзосфера**. Земјата се однесува како голем магнет. Земјиното магнетно поле ги концентрира наелектризираните честици кои идат од космосот во слоеви од околу 3000 и 16000 km од површината. Овој надворешен регион околу Земјата, каде честиците кружат покрај магнетните силиви линии е **магнетносфера** (види во II година *Ойклонување наелектризирана честица во магнетно поле* - Лоренцова сила).

Причини за глобалните климатски промени. Сончевото зрачење што влегува во климатскиот систем на Земјата и го напушта, враќајќи се во вселената како инфрацрвено зрачење. Притоа, климатскиот систем останува во рамнотежа ако не е присилен да се промени. За да се постигне стабилна температура на површината на Земјата, мора да се воспостави рамнотежа меѓу зрачењето што паѓа на Земјата и зрачењето што ја напушта. Во спротивно површината на Земјата би продолжила да се загрева (повеќе енергија влегува отколку што излегува) или обратно да се лади.

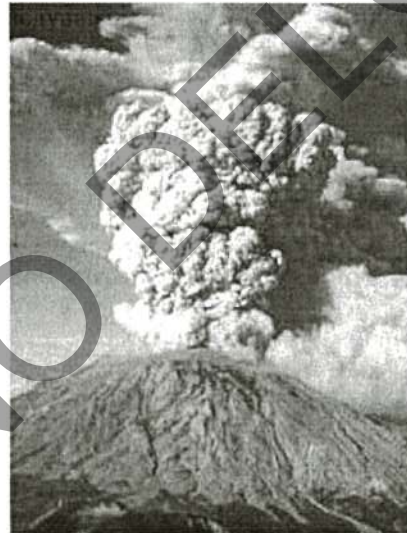
Логично е да се претпостави дека во минатото промените на климата, во најголема мерка, биле предизвикани од *природни влијанија*, а многу помалку како резултат од човековата активност – *антропогенни влијанија* изразени преку ефектот на стаклена бавча и промена на озонскиот слој. За некои од овие влијанија ќе стане збор подолу.

1. Аеросоли. Во атмосферата заедно со водените капки и честиците мраз што се наоѓаат во облаците и маглата, постојат и поголема количина тврди и течни честици со најразличен хемиски состав. Тие со едно име се наречени **аеросоли**. Најголем дел од овие честици имаат дијаметар 10^{-4} до 10^{-5} cm. Тие во атмосферата може да се појават како резултат на природни процеси – вулкански ерупции или како резултат од човечката активност.

Во општ случај, влијанието на аеросолите врз климата се сведува на промени на температурата. Причината за тоа е промената на прозрачноста на атмосферата.

Поголемиот дел од атмосферските аеросоли е во ниските слоеви на тропосферата, каде животот им е релативно краток. Една од причините за тоа, секако, е гравитационата

сила која од атмосферата ги привлекува најтешките честици кон површината. Оние полесните, пак, до Земјата стигнуваат под дејство на воздушните струења и врнежите, што како процеси имаат голема улога во прочистувањето на атмосферата од аеросоли. Аеросолите во тропосферата имаат влијание на климата од локален карактер.



Сл. 2. Вулканските ерупции придонесуваат за прозрачноста на атмосферата

Значително помала е количината на аеросолите во стратосферата. Димензиите на овие честици се многу мали (од 10^{-4} до 10^{-5} cm), па затоа гравитацијата врз нив делува многу слабо. Од друга страна, вертикалното струење на воздухот во стратосферата отсуствува, а исто така, нема ни врнежи. Ова придонесува влијанието на стратосферните аеросоли, претежно оксиди на сулфурот (SO_2 , SO_3 , или SO_4), да биде присутно врз промените на климата.

2. Океани и криосфера. Ако се земе предвид дека масата на водата е поголема од масата на атмосферата, а покрај тоа и специфичниот топлински капацитет на водата е поголем од оној на атмосферата (за 4 пати), тогаш станува јасно дека морињата и океаните се огромен резервоар на топлина. Нивна основна физичка карактеристика е што имаат релативно голема топлинска инерција – бавно се затоплуваат, но и бавно се ладат, а слабо го

рефлектираат упадното зрачење. Тие бавно, но постојано ја загреваат атмосферата.

Океаните и морињата имаат улога и во прочистувањето на атмосферата од CO_2 . Посебно влијание врз климата имаат топлиите и ладните водени струи.

Не помала улога во формирањето на климата има и *криосферата* (континенталните ледени покривки како Гренланд и Антарктикот, планинските ледници и снежни покривки).

Механизми со кои криосферата влијае врз климата има многу, но како најважни би ги спомнале: термичкото дејство врз воздушните и водените маси, зголеменото земјино алbedo и апсорпцијата на гасови.

3. Кисели дождови. Некои од гасовите на атмосферата (CO_2 , SO_2 , азотни оксиди NO_x , NH_3 и други), испарливите органски соединенија и алкалната прашина може да придонесат за киселоста на врнежите. Киселите дождови имаат $\text{pH} < 5$. Сè додека не се редуцира воздушното загадување дождовите ќе бидат проблем за човештвото.

Природни извори на сулфурните оксиди се вулканските ерупции, распаѓањето на разни организми. Природни извори на азотни оксиди се бактериите од почвата и хемиски реакции во погорните слоеви на атмосферата.

Меѓутоа, природните извори се само мал процент од загадувачите. Така, на пример, човекот е причина за 90% од емисијата на сулфурот и 95% од емисијата на азотот. Сулфур диоксидот се испушта при согорување на јагленот, рафинирање на нафтата. Азотните оксиди се создаваат при горење на горивата при ниска температура. Околу 40% од овие антропогени азотни оксиди се од автомобилите, камионите и возовите, 25% од термоелектраните и 35% од индустриски процеси на согорување, распаѓање на отпадот во депониите.

4. Космолоски влијанија врз климата.

Според денешните сознанија, активноста на Сонцето е само еден од таканаречените космолоски фактори. Познато е дека во Сонцето постојат 11, 22 и 80 - годишни циклуси од кои најдобро испитан е првиот. Кога станува збор за 11-годишниот циклус на сончевата активност, се знае дека таа влијае врз динамиката на процесите во стратосферата и јоносферата.

Тука спаѓаат, меѓу другите, и гравитационото влијание на соседните планети, промената на ексцентрицитетот и инклинацијата на Земјината орбита.

Климатските промени: претстојна глобална закана. Како што е познато, животот на планетата Земја е можен поради природниот ефект на стаклена бавча. Природното појавување на гасовите кои го предизвикуваат ефектот на стаклена бавча ("*стаклечки гасови*") - слично како стаклото што не дозволува топлината да излезе од стаклената бавча така и овие гасови придонесуваат за топлината на Земјата, пред сè водена пареа (H_2O), јаглерод диоксид (CO_2), метан (CH_4), азотен оксид (N_2O) и тропосферски озон (O_3) овозможува сончевата енергија да дојде до Земјината површина како видлива светлина, за потоа да биде заробена од атмосферата како инфрацрвено зрачење. Овој феномен ја одржува топлината на нашата планета.



Сл. 3. Кругење на CO_2 во атмосферата

Зошто очекуваме дека климата ќе се промени? Со индустријализацијата емисијата на "стаклечки гасови" од согорување на фосилни горива, сечење на шуми и чистење на земјиштето за земјоделие, постојано се зголемува. Во последните 100 години стаклечките гасови се емитираат во атмосферата побрзо отколку што природните процеси можеа да ги отстранат. Дополнително емитирани се и нови

синтетички гасови како што се **хлорофлуоро-јаглериоди (CFC)**. За жал, концентрацијата на овие гасови во атмосферата постојано се зголемува. Утврдено е дека и тие го поддржуваат ефектот на стаклената бавча.

Имено, зголеменото количество на сите овие гасови не дозволува топлината да излезе од тропосферата што придонесува за глобалното затоплување на Земјата и глобални промени во екосистемот (сл. 5).



Сл. 4. Глобално производство на CFC

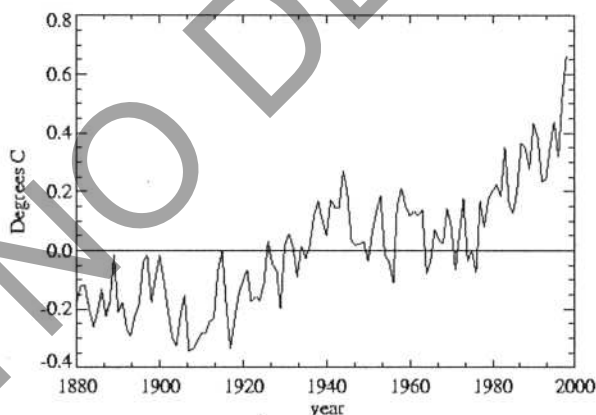
Податоците за климата пред 160 години укажуваат на тесна поврзаност меѓу концентрацијата на "стаклечки гасови" (пред сè водена пара, јаглерод диоксид, како и метан, азотен оксид и др.) во атмосферата и глобалните температури. Уште во 1896 година големиот шведски хемичар С. Арениус предвидувал дека со удвојување на концентрацијата на CO_2 во атмосферата преку согорување на фосилно гориво, можно е глобалната температура да порасне за $5,5^\circ\text{C}$. Ова не е далеку од вредностите $1,5^\circ\text{C}$ до $4,5^\circ\text{C}$ кои сега се добиваат од компјутерските симулации на климата за двојно зголемување на CO_2 во атмосферата.

Во 1995 година светската научна заедница извести дека промената е веќе присутна и дека планетата Земја во минатото столетие се затоплила за $0,5^\circ\text{C}$. Во јануари 2001 година Меѓувладиното тело за климатски промени при Обединетите нации изјави дека човечкото влијание претставува главен фактор за денешното глобално затоплување.

Во 1995 година направени се процени дека глобалната температура на воздухот на

Земјата ќе се зголеми за дополнителни 1°C - $3,5^\circ\text{C}$ до 2100 год. Тоа би било најбрзо менување на климата во последните 10000 години.

Затоплувањето во овие размери ќе влијае врз многу аспекти на нашите животи, бидејќи ќе предизвика промени на температурите и врнежите, пораст на морското ниво и промени во распределбата на свежа вода. Најверојатно значајни ќе бидат влијанијата врз здравјето на луѓето, виталноста на шумите и други природни подрачја, како и продуктивноста во земјоделството.



Сл. 5. Глобални промени на темпериатурата од 1880 до 2000 година

Потоплата планета Земја го забрзува глобалниот циклус на водата: размената на вода помеѓу океаните, атмосферата и земјиштето. Повисоките температури предизвикуваат поголемо испарување и побрзо сушење на почвите. Зголеменото количество вода во атмосферата значи повеќе дожд или снег. Можеби во овој момент ги гледаме првите знаци на промени во циклусот на водата. Тие појави може да предизвикаат поплави, ерозија на земјиштето, па дури и губење на некои видови живи организми. Во некои други подрачја, пак, зголеменото испарување доведува до суши, бидејќи обилни дождови паѓаат на други места.

Во последните 100 години глобалното средно морско ниво порасна за 10 до 25 cm, делумно поради ширењето на водата кога таа се загрева. Топењето на глечерите во последното столетие, исто така, придонесува за пораст на морското ниво. Порано замрзнатото

земјиште (вечен мраз) во арктичкиот предел на Алјаска и Сибир, исто така, почна да се топи, нарушувајќи ги екосистемите и инфраструктурата. Споменатото топење и затоплувањето на тундрите ќе доведе до распаѓање на органска материја и ослободување на заробениот јаглерод и метан, создавајќи дополнителен извор на "стаклечки гасови". Како што ризиците од глобалните климатски промени стануваат сè повеќе очигледни, се јавува вистинска потреба од фокусирање на акции за намалување на емисиите на стаклечките гасови и минимизирање на штетните влијанија од климатските промени.

Иако невозможно е да се прават попрецизни предвидувања на глобалниот климатски систем, сепак е јасно дека треба добро да ја чуваме и да се грижime за средината во која живееме.



Меѓународни иницијативи во врска со климатските промени. Во текот на 80-те години, заради научните докази за глобалните климатски промени и последиците од нив, се појави зголемена загриженост помеѓу научниците, политичарите и јавноста. Во 1992 година, во Рио де Женеиро беше усвоена **Рамковната конвенција за климатски промени** (United National Framework Convention on Climate Change-UNFCCC) чија крајна цел е: *...стабилизација на концентрацијата на "стаклечките гасови" на ниво кое ќе го спречи заканувачкиот антропоген удел во климатските промени...* Сепак, одзивот на развиените земји (кои се главните "произведувачи" на стаклечките гасови) се покажа недоволен и заради тоа во 1995 година воведен е Берлинскиот мандат, кој воспостави преговарачки процес за поголем ангажман во рамките на Конвенцијата во периодот по 2000 година. Овој процес, конечно, доведе до потпишување на Кјото протоколот (Kyoto protocol) во 1997 година.

Кјото протоколот претставува мошне важен чекор во ограничувањето на емисиите на "стаклечки гасови" (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, CFC₄). Бидејќи атмосферата не знае за граници јасно е дека тоа е проблем на сите од планетата Земја.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Каква е структурата на атмосферата?
2. Ако еден балон во 7 часот наутро го видите над Скопје, каде ќе биде во 19 часот вечерта? Зошто?
3. Зошто наелектризираните честички од космосот не стигнуваат до Земјата?
4. Кои се причините за глобални климатски промени?
5. Што се тоа "стаклечки гасови"?
6. Како човекот влијае врз промената на климата?
7. Какво влијание има озонската обвивка за животот на Земјата?
8. Како се уништува озонот и кои се последиците од сè поголемото уништување на озонската обвивка на Земјата?

Самиот термин **клима** буквално значи **наклон на сончевите зраци**, и за првпат е воведен од грчкиот астроном Хипаркус во II век п. н. е. Сè до XVIII век карактеристиките на климата биле објаснувани исклучиво преку наклонот, односно упадниот агол на сончевите зраци во дадена област.

Александар Хумболт (Alexander Humboldt)
германски природонаучник и патописец.



Повеќе информации за глобалното затоплување (Climate Change), озонската обвивка (Ozone layer) и мерки за нивна заштита со Кјото протоколот (Kyoto protocol) побарајте на Интернет или друга литература.

Направете семинар на оваа тема со што и Вие би придонеле за заштитата на животната средина.

5.4. ЕФЕКТОТ НА СТАКЛЕНА БАВЧА



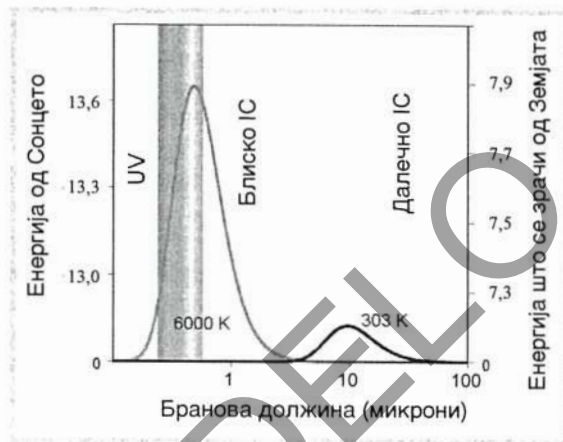
Дали сте си го поставиле прашањето: во кое спектрално подрачје зрачат телата околу нас? На пример, телата на температура 300 K и 6000 K имаат максимален интензитет на зрачење, првите во инфрацрвениот дел (IC), а другите во видливиот дел на спектарот. Оваа промена на брановата должина има големи последици од кои една е **ефектот на стаклена бавча**.

Брановата должина $\lambda_{\max}$ за која емитираното зрачење има најголем интензитет е зададена со **Виновиот закон на помесјување**

$$\lambda_{\max} = \frac{C}{T}, \quad (7)$$

каде што $C = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ е **Винова константа**, T апсолутна температура. Според Виновиот закон со **пораст на температурата, максимумот на интензитетот во спектарот на зрачењето се помесјува кон помали бранови должини** (сл. 1).

Сончевото зрачење со максимален интензитет на 483 nm лесно поминува низ стаклото. Внатре во стаклената бавча него го апсорбираат телата кои потоа реемитираат енергија. Меѓутоа, нивната температура е пониска, па емисијата на нивното зрачење е со помала бранова должина (во IC дел на спектарот). Овие бранови должини не може да поминат низ стаклото, т.е. **стаклото ги апсорбира IC зраци**. Така внатрешноста на стаклената бавча се загрева. Исто како што стаклото ја задржува топлината од Сонцето во стаклената бавча, така и атмосферата ја одржува топлината на Земјата.



Сл. 1.

Дали сѐ знаеле дека и ние луѓето живееме во **стаклена бавча**? Ефектот на стаклена бавча е многу важен природен феномен и во Земјината атмосфера. Тој се одвива на следниов начин (види слика 2):



Сл. 2. Ефект на стаклена бавча

- Сончевото зрачење минува низ атмосферата на Земјата како зрачење со кратка бранова должина, најмногу во видливиот и блиското инфрацрвено подрачје од спектарот. Еден дел од ова зрачење пред да стигне до површината на Земјата се апсорбира од атмосферата, вклучувајќи ги облаците, а дел се рефлектира и се враќа назад во вселената. Сепак, најголем дел од зрачењето стасува до површината на Земјата.

- Зрачењето кое стасува се апсорбира од површината на Земјата и според Виновиот закон се зрачи во инфрацрвената област (како топлинска енергија) во тропосферата на Земјата.

- Молекулите на водена пара- H_2O ; јаглерод диоксид- CO_2 ; метан- CH_4 , диазот оксид N_2O , озон - O_3 и др. ("стаклечките гасови") кои природно постојат во тропосферата, го апсорбираат долгобрановото (топлинското) зрачење што паѓа врз нив на патот назад во вселената така што тропосферата се загрева. Зрачењето што ја напушта тропосферата е во блиското инфрацрвено подрачје ($8-12 \cdot 10^{-6} m$).

- Молекулите на гасовите во стаклената бавча ја оддаваат топлинската енергија што ја апсорбирале во тропосферата. Имено, воздушната обвивка ја одржува температурата на Земјата. Маѓутоа, отсуството на гасовите од стаклената бавча би ја намалило просечната температура на нашата планета за околу $33^\circ C$, претворајќи ја Земјата во уште една безживотна планета на Сончевиот систем.

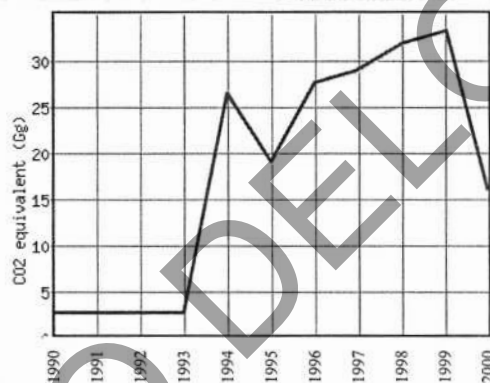
- Ограничено количество на гасови од стаклената бавча во тропопаузата дозволува дел од топлинското зрачење да излезе во стратосферата и надвор од неа.



Сл. 3. Загадувачи кои придонесуваат за зголемување на количеството гасови во атмосферата

Ефектот на стаклена бавча е природен феномен и на него се должи тоа што температурата на Земјата е погодна за животи. Докази за постоењето на ефектот на стаклена бавча доаѓаат и од други планети. На пример,

планетата Венера каде 90% од атмосферата е CO_2 температурата на површината е за $523^\circ C$ поголема отколку кога не би била атмосферата.



Сл. 4. Пораст на количеството на јаглерод диоксид во атмосферата

Што е тоа ефект на засилена стаклена бавча? Се верува дека основниот состав на атмосферата не се менувал милиони години, иако некои ретки компоненти, како што е CO_2 варираше. Денес количеството на јаглерод диоксид, метан, диазот оксид во атмосферата растат многу побрзо отколку што тоа било случај во минатото (сл. 4). Овој факт предизвикува загриженост во врска со глобалната промена на климата. Освен CO_2 , во атмосферата се испуштаат и синтетички гасови како хлорофлуоројаглеродите (CFC) (фреоните), кои имаат капацитет за апсорпција на топлината 7000 пати поголем од оној на CO_2 . Имено, зголеменото количество на сите овие гасови не дозволува топлината да излезе од тропосферата што придонесува за глобалното затоплување на Земјата и глобални промени во екосистемот.

Видовме дека енергијата што влегува во климатскиот систем на Земјата и го напушта, враќајќи се во вселената како инфрацрвено зрачење. За да се постигне стабилна температура на површината на Земјата, мора да се воспостави рамнотежа меѓу зрачењето што доаѓа на Земјата и зрачењето што ја напушта. Во спротивно површината на Земјата би продолжила да се загрева (повеќе енергија влегува отколку што излегува).

Што може да се стори? Во Рио де Женеиро 1992 год. на Рамковната конвенција за климатски промени беше објавен следниов заклучок: *извесно е дека зголемувањето на количеството испуштени гасови од страна на активностите на човекот ќе го засили ефектот на стаклена бавча, а како последица на тоа и дојдовниот загревање на Земјата.*

Ефектот на стаклена бавча кој милиони години беше благодет за Земјата, се чини дека во последното столетие се претвора во сериозна закана, засилен од човечките активности. Со индустријализацијата и порастот на населението, емисијата на дополнителните количества на гасови од согорување на фосилните горива, сечење на шумите и новите синтетички гасови, постојано се зголемува. Во последните 100 години дополнителното количество гасови на стаклената бавча се емитуваа побрзо отколку што природните процеси можеа да ги отстранат. Јаглерод диоксидот се разменува помеѓу целиот живот на Земјата, познат како биосфера, и атмосферата преку поголем број на процеси, од кои најважен е фотосинтезата и дишењето. Атмосферата, исто така, разменува CO_2 со океаните и реките. Еден дел од CO_2 , апсорбиран од површината на морето, на повеќе начини се транспортира во длабочините на океанот. Освен тоа CO_2 може да се претвори и во други соединенија.

На крајот, неминовно е и прашањето: какви промени може да се очекуваат како резултат од промените во стаклената бавча? За да се одговори правилно треба да се знае дека врската помеѓу концентрацијата на гасовите во атмосферата и затоплувањето што тие го предизвикуваат не е воопшто едноставна. Од друга страна, и поврзанооста меѓу глобалното затоплување и глобалната промена на климата е уште посложена.

За разлика од многу други области во науката, експерименти во врска со ефектот на стаклена бавча во лабораториски услови не може да се прават. Затоа најдобриот начин за проучување на глобалното затоплување, предизвикано од засилениот ефект на стаклена бавча е преку нумерички модели кои се извршуваат со јаки компјутери.

Најновите процени за зголемувањето на температурата на воздухот е дека во 2100

година тоа ќе изнесува 1 и $3,5^\circ\text{C}$ во однос на денешната просечна температура. Според сценариото "status quo" во 2100 година како резултат на порастот на температурата морското ниво ќе се зголеми за 15 до 95 cm во однос на денешното ниво. Поранешните прогнози предвидуваа поголем пораст на морското ниво заради нарушувања на ледената капа на Антарктикот, но денес се смета дека такви нарушувања се многу малку веројатни во милениумски размери. Иако невозможно е да се прават попрецизни предвидувања на глобалниот климатски систем, сепак е јасно дека треба добро да ја чуваме и да се грижime за средината во која живееме.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како се објаснува ефектот на стаклена бавча и што придонесува за зголемување на температурата во стаклената бавча?

2. Ако температурата на телото е 30°C , колкава е брановата должина на зрачењето? Ако температурата на Сонцето е 6000 K, каде е максимумот на ова зрачење? Што заклучуваш? ($C=2,89 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$).

(Одговор: Телата на Земјата емитуваат ИС зрачење со бранова должина $\lambda = 9,5 \text{ } \mu\text{m}$; а Сонцето зрачење со $\lambda = 480 \text{ nm}$. Како што се гледа и од графикот на сл. 1 првата е во ИС, а другата во видливиот дел на спектарот.)

3. Што е тоа ефект на засилена стаклена бавча?

4. Какви промени може да се очекуваат како резултат од промените во стаклената бавча?

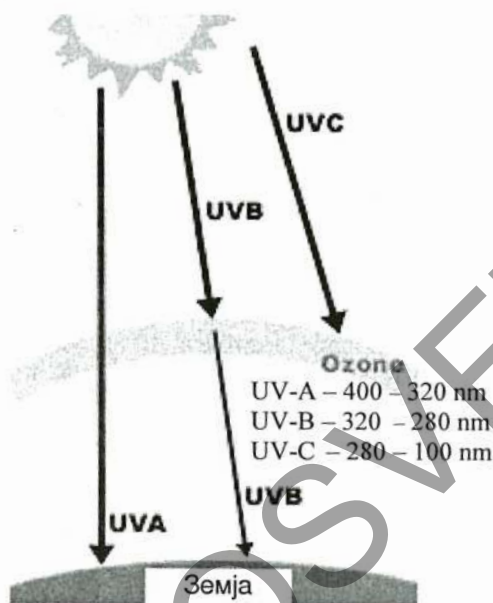
5. Зошто помеѓу дневната и ноќната температура на Месечината има голема разлика?



Повеќе информации за ефектот на стаклена бавча (Grynhauus effect) побарајте на Интернет или друга литература. Направете проект на оваа тема.

5.5. ОЗОНСКАТА ОБВИВКА СЕ МЕНУВА

Озонот е лоциран, главно, во стратосферата го апсорбира штетното ултравиолетово зрачење (UV) од Сонцето и е заштита на животот на Земјата. Но, последните години луѓето ја загрозија озонската обвивка испуштајќи во атмосферата супстанции кои го уништуваат стратосферскиот озон и ја нарушуваат рамнотежата воспоставена од природата. Неговата концентрација зависи од географската ширина, годишното време и надморската висина.



Сл. 1. Апсорпција на UV зрачењето со голема енергија од озонската обвивка

Озонот (O_3) е форма на елементарниот кислород кој има 3 атоми во секој молекул, наместо 2 како молекулот на кислородот (O_2). Озонот се создава во стратосферата (10-15 km од површината на Земјата) во реакција помеѓу молекулите на кислород и сончевото зрачење (UV) со бранова должина 176-244 nm во процесот наречен *фотолизис*. Притоа молекулите O_2 се распаѓаат во атоми кои со други O_2 молекули формираат озон O_3 (сл.2).

Иако сончевото ултравиолетово зрачење постојано произведува нов озон овие моле-

кули на озон континуирано се уништуваат во низа каталитички реакции од страна на природни соединенија кои содржат кислород, азот, водород, хлор и бром. Овие супстанции отсекогаш биле присутни во атмосферата, многу одамна пред да почне човекот да ја загадува атмосферата. Тие доаѓаат од почвата и океаните, во форма на метилхлорид, метилбромид, азот моноксид и ја воспоставуваат стабилната природна рамнотежа која многу малку е нарушена од цикличната активност на Сонцето.



Сл. 2. Фотолизис на кислородот

Околу 90% од озонот е лоциран во стратосферата со максимална концентрација помеѓу 19 и 25-тиот километар гледано од површината на Земјата. Дното на стратосферскиот озонски резервоар е определено со висината на тропопазата-изотермна гранична област меѓу тропосферата и стратосферата, со висина од 8 до 10 km над половите и скоро 18 km над екваторот.



Сл. 3. Озонот ја определува температурната структура на стратосферата

Бидејќи при процесот на фотолиза се ослободува топлина, озонот ја определува температурната структура на стратосферата. По опаѓањето во стратосферата, во стратосферата се менуваат температурата (сл. 3). Од графикот се гледа дека таму каде што температурата е најниска озонската обвивка е најдебела.

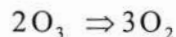
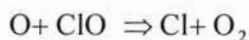
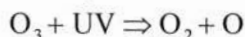
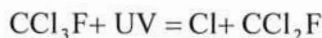
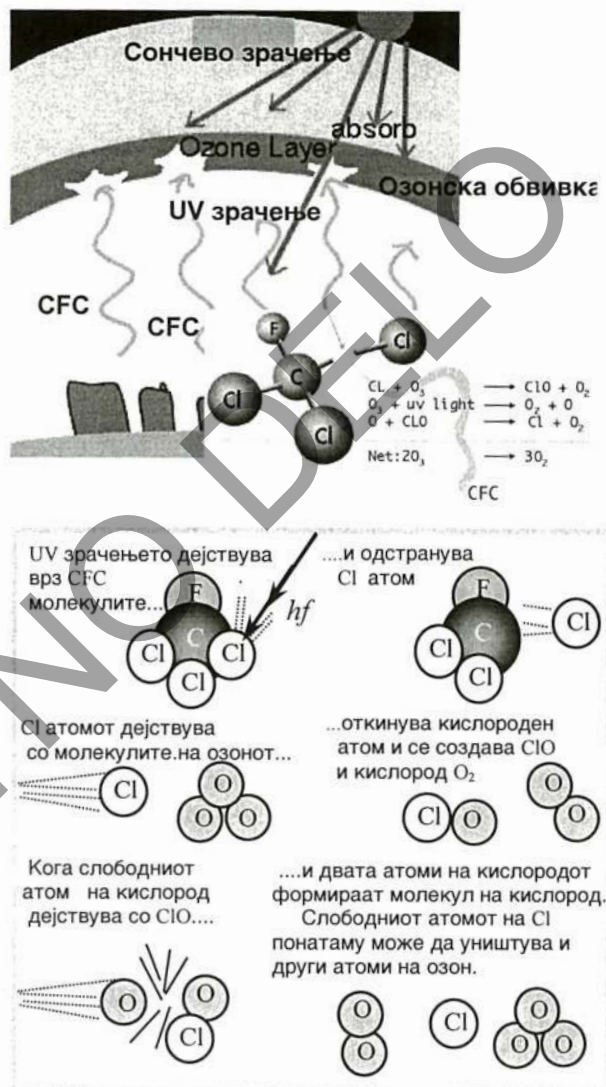
Каква е состојбата на глобалната озонска обвивка денес?

Денес повеќе од јасно е дека глобалното озонско ниво е значително пониско од нивото утврдено пред 1980 год. Закана за озонската обвивка се разни активности на човекот како што се, на пример, супстанциите кои се користат во ладилници и спрејови (хлорофлуоро јаглеродите-CFC). Тоа се многу инертни и нерастворливи во вода гасови, кои по пат на конвенција (струење) на воздухот се транспортираат во стратосферата. CFC во стратосферата апсорбираат високоенергетски фотони од Сончевото зрачење (230 nm) и се добива слободен хлор. Еднаш ослободениот хлор го уништува озонот (како катализатор) во серија каталитички реакции (сл. 4). Реакциите се одвиваат во стратосферата при екстремно ниски температури (-80°C).

Бромот од бромфлуоројаглеродите кои се користат за гасење пожари со UV зрачењето, исто така, може да биде ослободен во стратосферата. Бромот има 30 пати поголема способност за уништување на озонот од хлорот. Халогените деривати на јаглероводородите кои наместо флуор и хлор содржат друг халоген елемент како, на пример, бром, јод и др., може да опстојат повеќе од стотина години во стратосферата. Движени од воздушните струи CFC гасовите се закана за озонската обвивка и во наредните децении.

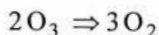
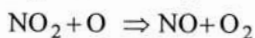
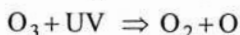
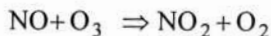
Закана за озонот е и N_2O од суперсоничните авиони кои летаат во ниските делови на стратосферата. Азотни оксиди се создаваат од транспортните средства, термоелектраните, индустриските процеси на согорување.

Количеството на овие гасови е многу пати поголемо од хлорот и бромот што пристигнува нормално од океаните во вид на метилхлорид и метил бромид. Овие синтетички гасови испуштени во атмосферата го уништуваат озонот со сериозни глобални последици.



Сл. 4. Уништување на озонот при реакција на CFC и UV зрачењето

Уништувањето на озонот што е резултат при реакцијата на азотмоноксид (NO) како катализатор и UV зрачењето протекува вака:



За создавање на NO влијание има и космичкото зрачење (космичките зраци на половите влегуваат скоро паралелно со магнетните силини линии). Просторната распределба при формирањето на NO покажува дека Земјиното магнетно поле има индиректно влијание на концентрацијата на NO, а според тоа и озонот. Истражувањата покажуваат дека продукцијата на NO е најголема на половите, а логично следува дека и озонските дупки се токму таму. Воедно за уништување на озонот над половите придонесува и присуството на големи количини реактивен хлор и бром.

Озонот се создава преку целата година во стратосферата над екваторијалниот појас. Преку воздушните струења тој се транспортира кон поларните географски широчини.

Загубите на озонот посебно се големи над Антарктикот. За тоа придонесуваат и поларните стратосферски облаци кои ја привлекуваат водената пара и ги апсорбираат азотните соединенија. Со доаѓањето на на т.н. антарктичка пролет во септември (појава на сонцето и UV зраците), стабилните резервоари преминуваат во активни видови на хлорот и бромот на површината на поларните стратосферски облаци и со голема ефикасност го уништуваат озонот. Резултатите од тоа се: загуба на повеќе од 40% озон за време на септември и октомври (кога поларниот виор – силни западни ветрови го носи озонот) и најголемата досега озонска дупка со површина од 24 милиони km^2 (види слика 5, 6, 7).

Меѓутоа, уништувањето на озонот над Арктикот не е толку големо, поради две причини: температурата во стратосферата ретко достигнува вредности под -80°C поради редовната обилна измена на воздушните маси од средните географски ширини; струењето над Арктикот престанува пред крај на зимата пред Сончевата светлина да предизвика процеси како над Антарктикот.

Глобално од 1970, вкупниот озон има тенденција на опаѓање насекаде освен над екваторот (озонската обвивка денес изгледа

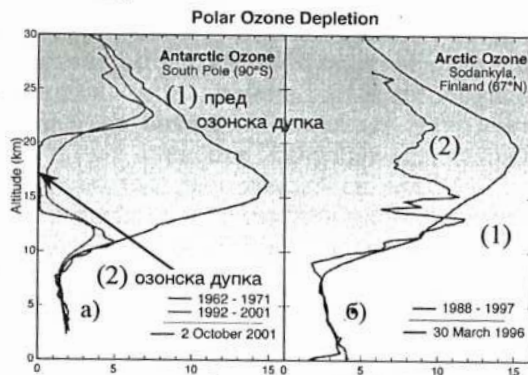
како стара излитена крпа). Ако се исклучи екваторијалниот појас, каде нема значителни промени во озонот, опаѓањето над средните и поларните географски широчини во периодот 1984-1993 во однос на 1964 година е повеќе од 2 пати.



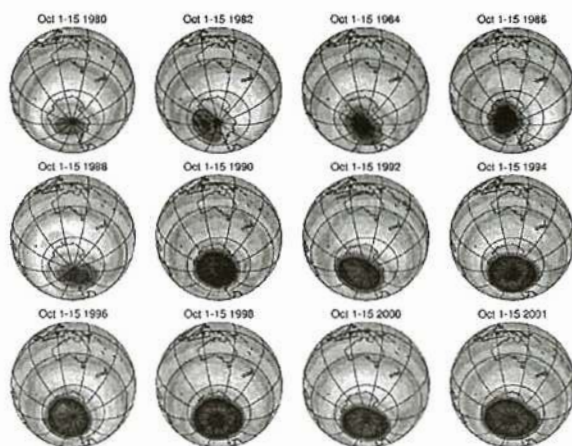
Сл. 5. Озонската дупка над Антарктикот.

Во тропосферата, напротив, концентрациите на озонот во северните средни географски ширини, во последните 100 години се зголемиле за повеќе од 2 пати и се со тенденција на растење. Овој озон не може да ги компензира загубите во стратосферата.

За разлика од озонот во стратосферата, кој има позитивна филтерна улога на UV зрачењето, тропосферскиот озон, иако хемиски идентичен, има сосема поинакви, деструктивни својства. Тој е силно реактивен со другите молекули и неговите високи концентрации се токсични за живите системи и ги оштетуваат нивните ткива.



Сл. 6. Вертикален профил на озонот во стратосферата а) над Антарктикот (1) октомври 1962-1971 и (2) 2 октомври 2001; б) над Арктикот - (1) март 1988-1997 и (2) 30 март 1996



Сл.7. Ширење на озонската дупка над Антарктикот во 1980, 82, 84, 86, 88, 90, 92, 94, 96, 98, 2000, 2001 год.

Последици од уништувањето на озонот.

Озонот влијае врз рамнотежата на примање и враќање на топлината од системот Земја-атмосфера со непредвидливи последици. Озонот го рефлектира инфрацрвеното зрачење кое се реemitира од Земјата и го враќа назад кон неа, помагајќи во загревањето на пониските слоеви (ефект на стаклена бавча). Така зголемувањето на озонот во тропосферата, посебно во близина на тропопаузата, предизвикува затоплување, додека намалувањето на стратосферскиот озон предизвикува ладење.

Бидејќи озонот силно го апсорбира UV-зрачењето од Сончевиот спектар со бранови должини пократки од 280 nm дозволува само мал негов дел да дојде до површината на Земјата. Уништувањето на озонот предизвикува зголемено ниво на UV-B зрачењето на површината на Земјата кое е со големи последици за живиот свет: рак на кожата, катаракта на очите (заматеност на очната леќа), оштетување на ДНК, намалување на ефикасноста на имунолошкиот систем, нарушување на некои екосистеми, посебно на морскиот фитопланктон кој е главен одвод на CO_2 и последици од промена на климата.

Што може да се стори за заштитата на озонската обвивка? Загрижувачкото уништување на озонската обвивка ги ангажира прво научниците и стручњациите, а потоа и светските организации. За да се најде излез од настаната состојба во врска со озонската обвивка

Владиниот совет на UNEP- United National Environmental Programme - организација за животна средина при ООН, во 1977 година ги постави основите на меѓународната акција за заштита на озонската обвивка. Во 1985 година со Виенската конвенција се задолжуваат земјите да го штитат здравјето на луѓето и животната средина и да подготват конкретни мерки.

Со Монреалскиот протокол од 1987 дадени се конкретните мерки и бара CFC до крајот на 1994 да се намали за 20 %, а до 1998 за 50 %. И покрај ваквите мерки тешко е да се предвиди кога озонската обвивка ќе се обнови и врати во првобитната состојба.



Paul Crutzen



Mario Molina



Sherwood Rowland

За придонесите во расветлувањето на хемиските реакции при уништувањето на озонот Нобеловата награда за хемија во 1995 ја поделија Paul Crutzen (1933-) од Макс Планк институтот, Mario J. Molina (1943-) од Масачусет, Институт за технологија и F. Sherwood Rowland (1927-) од Калифорнија универзитетот.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како се објаснува создавањето на озонот и каде се случува тоа?
2. Какво влијание има озонската обвивка за животот на Земјата?
3. Како се уништува озонот и кои се последиците од сè поголемото уништување на озонската обвивка на Земјата?

Повеќе информации за озонската обвивка (Ozone layer) побарајте и на Интернет.

Напишете проект за заштита на озонската обвивка.

5.6. ВЛИЈАНИЕТО НА БУЧАВАТА ВРЗ ЖИВИТЕ ОРГАНИЗМИ

Под бучава се подразбира звук со голем интензитет и долготрајно дејство. Звучните бранови кои дејствуваат како бучава може да ги имаат сите можни фреквенции во областа на чујниот звук.

Бучавата е еден од факторите на околната средина кои имаат негативно влијание врз работата и животот на човекот. Бучавата е сериозен проблем во урбаните средини. Истражувањата покажуваат дека транспортните средства имаат најголемо влијание во создавањето на бучавата, околу 90 %.

Бучавата може да биде: **урбана**, што ја предизвикуваат, пред сè, моторните возила низ сообраќајниците, и **индустриска**, што се создава од разните машини и мотори при нивната работа.

Интензивната, а особено долготрајната бучава штетно дејствува врз човечкиот организам: *предизвикува нервни расирожјива и заболувања, го покачува крвниот притисок и го ослабува слухот. Големата бучава може да предизвика аритмија на срцето и најнајчесто на мускулите.*

Во согласност со резонантната теорија, одделни влакненца од базиларната мембрана (таа е одговорна за тоа што човечкото уво ги разликува одделните тонови), присилени да осцилираат долготрајно, атрофираат, а со тоа ги губат еластичните особини и способноста за осцилирање. На пример, луѓето кои изработуваат казани обично страдаат од делумна глувост за опсегот на фреквенции на звукот кој одговара на бучавата создадена од ударите на чеканот во сидовите на казанот.

Да се потсетиме само на некои физички карактеристики на звучните бранови.

Јачината или интензитетот I на звучниот бран како енергетска карактеристика е пропорционален со квадратот на амплитудата на акустичкиот притисок $p_{\max}$ и обратно пропорционален со акустичкиот отпор на средината $R_a = \rho v$. За рамен лонгитудинален бран

важи:

$$I = \frac{1}{2} A^2 \omega^2 v = \frac{p_{\max}^2}{2\rho v} = \frac{p_{\max}^2}{2R_a}, \quad (1)$$

каде што A е амплитудата на звучниот бран, ω е кружната фреквенција, v е брзината на простирање на бранот. Значи, мерејки ја амплитудата на акустичкиот притисок лесно се определува интензитетот на звукот.

Ниво на гласност. Човечкото уво е осетливо на широк интервал на фреквенции ($20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$) кои имаат и определен интензитет. Звукот чиј интензитет е земено дека е единица $I_{\max} = 1 \text{ W/m}^2$ предизвикува болка. Овој максимален интензитет на звукот што увото го регистрира со осет на болка се вика **граница на болка** или **горна граница на чујност**.

Минималната вредност на интензитетот на звучниот бран кој предизвикува осет за звук е **праг на чујност**. Тој при фреквенција од $f = 1000 \text{ Hz}$ изнесува $I_{\min} = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Поради големиот опсег на интензитети на звук во чујната област, се користи **ниво на гласност на звукој**. Нивото на гласност L со произволен интензитет I се определува со:

$$L = k \log \frac{I}{I_{\min}} \quad (2)$$

каде што k е константа; I интензитет на звукот; $I_{\min}$ интензитет на референтниот звук - праг на чујност за $f = 1000 \text{ Hz}$. Кога во равенката (2) ќе се земе $k=1$ нивото на гласност се изразува со единицата бел (B), а кога $k=10$, ова ниво се изразува со децибели (dB).

Меѓутоа, овие нивоа најчесто се изразуваат со десет пати помалата единица, т.н. децибел (dB), па изразени во децибели минималниот и максималниот интензитет на звукот соодветно се 0 и 120 dB.

Намалувањето на бучавата се базира на два основни закони кои во широки граници се валидни и за другите потоци на енергија – механичките бранови, електромагнетните бранови (светлински, ренгенски и γ -зраци).

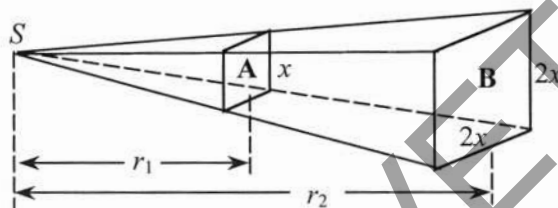
Првиот закон е намалување на интензитетот на звукот I со **квадратниот** од

растојанието r :

$$I \sim \frac{1}{r^2} \quad (3)$$

Како може да го провериме тој закон? Нека на растојание $r_1 = 1\text{m}$ од изворот S нормално на простирање на звукот се постави површината A (сл.1). Површината A е квадрат со страни x и плоштина x^2 . Ако за време од 1 s звучниот бран низ површината A пренесува енергија 1J , согласно дефиницијата интензитетот на звукот низ A ќе биде $I_1 = \frac{1}{x^2} \text{Wm}^2$.

На истиот начин, да разгледаме на двојно поголемо растојание ($r_2 = 2\text{m}$) квадрат B со страна $2x$. Низ него за 1 s се пренесува истата енергија на звучниот бран. По дефиниција интензитетот на звукот низ површината $4x^2$ ќе биде $I_2 = \frac{1}{4x^2} \text{Wm}^2$.



Сл. 1. Намалување на интензитетот на звукот I со квадратот на растојанието r од изворот

При споредување на интензитетите I_1 и I_2 се гледа дека ако растојанието од изворот се зголеми два пати, интензитетот на звукот ќе се намали четири пати:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad (4)$$

Законот кој го дава влијанието на интензитетот од геометрискиот фактор (растојанието) е валиден ако звукот не се намалува од други фактори.

Кога звучен бран поминува низ еластична средина поради звучниот отпор на средината еден дел од неговата енергија се претвора во топлинска, а другиот дел е за совладување

на внатрешното триење. Бидејќи интензитетот на звучниот бран е пропорционален со квадратот на амплитудата, при поминувањето низ средина со дебелина x , поради апсорпцијата на енергијата опаѓањето на интензитетот на звучниот бран е зададен со:

$$I_x = I_0 e^{-\alpha x}, \quad (5)$$

каде што I_0 е интензитет на упадниот бран, I_x е интензитет на бранот по поминување низ материјалната средина со дебелина x , α е **коэффициент на апсорпција**. Коэффициентот на апсорпција за различни материјални средини има различни вредности, а зависи од фреквенцијата.

Најдобри звучни изолациони својства имаат порозните материјали, како стиропорот, памукот, сунѓерот и др. Притоа треба да се има предвид дека звучните прегради или екрани кои се користат како заштита од звук треба да имаат димензии поголеми од брановата должина на звучниот бран. Во спротивен случај би дошло до дифракција, па звукот би се распространувал и зад екранот. За звукот во областа на слушањето, големината на брановата должина во воздух е од 1,7 cm до 17 m.

Заштита од штетното дејство на бучавата се реализира и така што во близина на аеродромите се прават високи сидови, на кои најчесто се садат растенија кои со повеќекратна рефлекција (реверберација) на звучните бранови го намалуваат нивниот интензитет. Таква заштита се прави и покрај сообраќајниците, во чија близина има големи тревници.

Човекот најдобро ќе се заштити од бучавата ако живеалиштето го избере далеку од големите сообраќајници и аеродроми. Наедно при градење на домовите треба да се користат материјали кои имаат добра звучна изолација.

Со законот за заштита допуштено ниво на гласност за **високите фреквенции** е од 70 до 80 dB, а за **ниските фреквенции** 90-100 dB. За определени простории каде што е нужна поголема тишина пропишани се и построги нивоа на гласност. Така, на пример, во болниците е до 15 dB, во библиотеките до 20 dB, а во спалните соби од 20 dB до 30 dB.

Нивото на гласност на звукот од разните предизвикувачи на бучавата е прикажано во табелата 1.

Табела 1.

Извори на звук	L (dB)
праг на чујност	0
шепотење на растојание од 1 m	20
обичен разговор	40
просечно прометна улица	60
гласно зборување, сообраќај	70
прометна улица, поминување на воз	90
мотор на млазен авион (20 m)	120

За да се заштитат луѓето од бучавата во урбаните средини се вршат мерења на бучавата. Мерењето на бучавата се прави со уред кој се вика **сонометар** односно фонометар (сл.2). Со него се определува нивото на гласност и неговата висина.



Сл. 2. Сонометар

ПРИМЕР 1. Колкаво е нивото на гласност на звукот на растојание 500 m од моторот на реактивен авион ако на 50 m гласноста е $L_1=140$ dB, а интензитетот на звукот $I_1=100$ W/m²?

Решение: Интензитетот на растојание 500 m според равенката (4) изнесува:

$$I_2 = I_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 = 100 \text{ W/m}^2 \left(\frac{50 \text{ m}}{500 \text{ m}} \right)^2 = 1 \text{ W/m}^2$$

Нивото на гласност на звукот соодветно:

$$L_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_{\min}} \right) = 10 \log \left(\frac{1}{10^{-12}} \right) = 120 \text{ dB}$$

Добиената вредност одговара на прагот на болка. Оттука се заклучува дека 500 m е најмалото растојание на кое работниците може да се приближат до реактивниот авион без ризик дека ќе го оштетат слухот.



ПРОШИРИ ГО СВОЕТО ЗНАЕЊЕ

Механичките осцилации чија фреквенција ги опфаќа инфразвучите ($f < 16$ Hz) и дел од звучната област припаѓаат на потресите или **вибрации**.

Човечкото тело како целина може да се смета како сложен осцилаторен систем со своја маса, еластичност и придружување. Секој елемент од телото има своја сопствена фреквенција. Побудувањето на тие фреквенции обично настанува во превозните средства, преку осцилаторните машини со кои работи, или преку подлогата на која се стои.

Сепак, резонантните појави при умерени надворешни влијанија, бидејќи коефициентот на придружување за организмот е многу голем, многу тешко се остваруваат. Овие вибрации, дејствувајќи на резонантен начин, можат да предизвикаат оштетување на организмот. На пример, при резонанција на очното јаболко се намалува остријата на видот. Наедно, долго-трајните и интензивните вибрации може да доведат до деструкција на ткивата и одделни органи или други заболувања.

Заштитата од инфразвучите и вибрациите многу тешко се остварува.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Точките А и В лежат на иста права со точкест извор на звук. Во точката А нивото на гласноста на звукот е 60 dB, а во В – 50dB . Растојанието меѓу точките е АВ=5 m. Колкаво е растојанието од изворот до точката А?

(Одговор: 2,3 m)

2. За колку се разликува гласноста на звукот во две точки кои соодветно се на растојание 1 m и 10 m од точкест извор на звук?

(Одговор: 20 dB)

3. На растојание 5 m од извор на звук нивото на гласноста на звукот е 100 dB. Колкава е гласноста на звукот на растојание 10 m од изворот на звукот?

(Одговор: ≈94 dB)

5.7. ВЛИЈАНИЕТО НА ЈОНИЗИРАЧКИТЕ ЗРАЧЕЊА ВРЗ ЖИВИТЕ ОРГАНИЗМИ

Јонизирачките зрачења имаат силно дејство на сите живи организми почнувајќи од бактериите и вирусите сè до цицачите. Карактерот и последиците од тоа дејство зависат од дозата и од видот на зрачењето. Едно исто зрачење различно делува врз различни органи.

Врз живата материја делуваат јонизирачки зрачења коишто се добиваат од најразлични извори:

- **Космички зраци.** Космичкото зрачење е присутно насекаде и се смета дека е еден од најважните фактори кои предизвикуваат *сјонизациони мутации* кои се важни за еволуцијата на животот. Бидејќи интензитетот на космичкото зрачење расте со порастот на висината, се зголемува ризикот од радијациони оштетувања кај патниците во воздушниот сообраќај. Така, на пример, за време на летот Њујорк-Париз просечната доза што ја прима еден патник е околу 50 μSv .

- **Природни радиоактивни извори.** Овие се широко распространети во земјината кора. Најчесто се среќаваат ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra и продуктите на нивните распади, од коишто најчест е радонот Rn. Тој во вид на гас излегува од земјата и се концентрира во затворени простории. Освен споменатите радионуклиди, во природата го има радиоактивниот ^{40}K и радиоактивните изотопи на ^{14}C и ^3H коишто настануваат при бомбардирање со космичко зрачење.

- **Радиоактивност во храна и вода.** Од храната и водата во организмот се внесуваат многу радионуклиди и добар дел од нив се депонираат во ткивата на организмот. Тоа се најчесто радионуклиди од фамилијата на ураниум и торииум, калиум и јаглерод. По II светска војна заради нуклеарните проби во атмосферата, големата количина радиоактивен цезиум ^{137}Cs беше ја контаминирала земјата и речиси целиот биолошки свет. Радиоактивниот ^{90}Sr во организмот се депони-

ра во скелетот слично како и калциумот каде што останува повеќе години озрачувајќи го не само ткивото на коските, туку и клетките од кои настанува крвта. ^{137}Cs во организмот се задржува многу пократко и се депонира рамномерно. ^{131}I е краткоживечки изотоп кој селективно се акумулира во тироидната жлезда.

- **Професионално изложување на зрачење.** При користењето на радиоактивни препарати во различни дејности, добар дел од луѓето кои професионално работат се изложени на зрачење. Тоа е најчесто случај при работа со уредите за радиографија, X-зраци, неутронски извори, акцелератори итн. Тоа се однесува и за луѓето вработени во нуклеарните центри.

- **Озрачување при медицинска дијагностика и терапија.** Радијацијата се користи за дијагностицирање и за терапија на некои болести. Медицинското зрачење во целина е корисно: дијагностичките рендгенски прегледи се најраспространет облик на медицинско зрачење. Податоците зборуваат дека во развиените земји годишните стапки се движат од 300 до 900 прегледи на секои 1000 жители, во кои не се вклучени податоците за снимањето на забите и масовната радиографија на белите дробови. Тераписките дози се многу поголеми но, во тој случај се проценува колку тоа изложување на зрачење е корисно за пациентот, без оглед на споредните ефекти што притоа ќе се појават.

Биолошките промени што се резултат на зрачењето во прв ред се должат на јонизирачкото дејство. Формирањето на јонските парови и настанувањето на реактивните слободни радикали е причина за претворбите и настанување на конечни хемиски продукти.

Под дејство на зрачењето молекулата на водата се разложува, т.е. настанува *радиолиза* при што се формираат реактивни слободни радикали H^+ , OH^- и HO_2 како и H_2O_2 . Овие радикали реагираат со другите молекули на биолошкиот систем, при што се добиваат нови видови на молекули. Радикалите во воден раствор реагираат со органските молекули така што од нив ги одземаат атомите на H дури и цели делови од молекулата (преостанатиот дел од молекулата се вика органски радикал)

кинејќи ги молекуларните врски. За биолошкиот ефект значајно е токму однесувањето на таквите органски радикали коишто обично стапуваат во реакција со други радикали или со молекуларен кислород при што се добиваат нови видови на молекули.

Последици од зрачењето

По својата природа, зрачењето е штетно за човечкиот организам. Дури и при мали дози, зрачењето може да индуцира промени коишто со тек на времето можат да доведат до генетски промени или, пак, до развивање на рак. При високи дози, зрачењето ги уништува клетките, ги оштетува органите и може да предизвика смрт. Се разбира, оштетувањата при високи дози стануваат видливи само по неколку часови, но за да се развие рак, треба да помине подолго време. Наследните деформации и болести предизвикани од генетски оштетувања поради зрачењето настануваат кај генерациите што следат.

Генетските последици на радијацијата се делат на: *хромозомски аберации и мутации на геном*.

Хромозомски аберации. Зрачењето создава хромозомски аберации со кинезе на хромозомот на едно или повеќе места при што настануваат фрагменти коишто можат да се рекомбинираат на повеќе начини.

Мутации. Зрачењето може да индуцира мутации на два начина: *непосредно* со предизвикување на хемиски промени на базните парови на ДНК и *посредно* со предизвикување на поголеми оштетувања како, на пример, прекини на ДНК веригата.

Акујниите ефекти најдобро се проучени кај цицачите озрачени со X- или γ -зрачење. Кога целото тело на возрасно животно се изложи на радијација, се појавуваат низа специфични промени (*синдроми*) во ткивата и органите.

Дози поголеми од 100 Gy го оштетуваат централниот нервен систем и смртта настапува ден-два по озрачувањето. Болеста се манифестира преку респираторни тегоби, губење на координација, губење на свест итн. Дозите од 9-100 Gy исто така се *лејшални*. Смртта настапува 3-5 дена по озрачувањето поради пов-

реди во гастроинтестиналниот систем, губење на апетит, мачнина, повраќање, дијареја, депресија. Дозите од 3-9 Gy се *сублејшални* и предизвикуваат карактеристични промени во крвните клетки и во хематопоезиските органи што се појавуваат 10-15 дена по озрачувањето проследени со малаксаност, крварење, тресење, пад на бројот на леукоцитите итн.

Вкупната акутна радијациона повреда е резултат на ефектот на озрачување на повеќе ткива и органи. Овој здружен ефект се вика *акутен радијационен синдром*. Дали тој синдром ќе биде летален, зависи и од индивидуалната радиосензитивност на организмот.

Одложени (подоцнежни) ефекти. Кај организмите кои се опоравиле од акутните повреди од зрачењето, како и по подолготрајно изложување на зрачење, со тек на времето можат да се појават патолошки промени на ткивата и органите.

Канцерогените ефекти предизвикан од јонизационите зрачења е познат уште од првите денови на радиобиологијата, а подоцна е потврден со многу примери кај луѓе и кај експериментални животни. Заклучок е дека зрачењето може да индуцира разни видови рак.

Терајогени ефекти. Ембрионот и фетусот се многу поосетливи на зрачење во однос на возрасен организам. Зрачењето *in utero* предизвикува ембриогенеза. Овие промени можат да бидат летални како за ембрионот или фетусот, така и за новороденчето. По раѓањето можат да се појават: абнормалност на скелетот, деформација на екстремитетите, деформација кај очите и лицето итн.

Фундаментални величини и единици во дозиметријата

Активност на радиоактивен извор (A)
Активността го карактеризира количеството на радиоактивни јадра од еден извор, т.е. големината на изворот на јонизирачко зрачење. Активноста се дефинира како број на распади (дезинтеграции) на радиоактивни јадра од еден изотоп во единица време. По самата дефиниција, активноста претставува *брзина на распадо*.

Единицата за активност во SI е "дезинтеграција (распад) во секунда" [s^{-1}] за

која во 1975 г. е усвоен називот "бекерел" Bq (во чест на францускиот физичар Х. Бекерел). Активност од 1 Bq има оној радиоактивен извор во кој се врши по една дезинтеграција во секоја секунда.

Апсорбирана доза (D) Апсорбираната доза претставува величина со којашто се карактеризира засмодејството на зрачењето со материјалната средина. Таа е основна радиолошка величина и се дефинира со количникот од предадената енергија од страна на зрачењето ΔE на маса Δm на организмот:

$$D = \frac{\Delta E_0}{\Delta m} \quad (1)$$

Единицата во SI е "кул на килограм" [J kg⁻¹] за која е воведено посебно име "греј"-ознака Gy: 1 Gy = 1 J kg⁻¹

Еден греј (1Gy) е еднаков на апсорбираната доза на кој било вид јонизирачко зрачење која одговара на енергија од 1J, предадена на озрачен материјал со маса од 1 kg.

Брзина на апсорбирањата доза (D) Брзината на апсорбираната доза претставува предадена енергија на јонизирачко зрачење на единица маса за единица време. Накучо, (D) може да се дефинира како прираст на апсорбираната доза во единица време. SI единицата за брзина на апсорбирана доза е "греј во секунда" [Gy s⁻¹]. Оваа величина практично е најважна во заштитата од зрачењето.

Експозиција (X). Кога е потребно да се карактеризираат радијационите полиња на X- и на γ-зрачењето се користи величината експозиција. Таа е мерка за јонизационото дејство на X- и γ-зрачењето во воздухот. Се дефинира преку следнава релација:

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} \quad (2)$$

каде што ΔQ е сумата од електричните полнежи на сите јони од еден знак создадени во сув воздух, кога сите електрони ослободени од фотоните во елемент од волуменот на воздухот со маса Δm се потполно запрени во

воздухот. Единица за експозиција во SI е "кулон на килограм" [C kg⁻¹]. Таа е еднаква на експозицијата на X- и γ-зрачењето при што сврзаната со неа корпускуларна емисија во сув атмосферски воздух со маса од 1 kg произведува јони кои носат електричен полнеж од кој било знак еднаков на еден кулон (1C).

Старата единица за експозиција (експозициона доза) беше "рендген" (R). Врската помеѓу старата и новата единица е:

$$1R = 2,58 \cdot 10^{-4} [C kg^{-1}].$$

Еквивалентна доза (H) Деталните испитувања покажуваат дека биолошките ефекти кои ги предизвикува зрачењето во одредена материјална средина претставуваат мошне сложена функција од повеќе фактори. Освен зависноста од просторната и временската распределба на апсорбираната доза, биолошките ефекти зависат од видот на зрачењето.

Докажано е дека биолошките ефекти што се резултат на иста апсорбирана доза во исто тело, добиена од X-или од γ-зрачење, од α-зрачење, протонско или неутронско зрачење, се многу различни. Од друга страна, осетливоста на различни органи кај човекот не е еднаква, така што иста апсорбирана доза на јонизирачко зрачење во различни органи може да предизвика различни биолошки ефекти. Точното определување на овие зависимости е прилично тешко, пред сè поради тоа што директни експериментални испитувања не се можни, освен во случаи на несреќи. За таа цел се користат експериментални испитувања со животни од кои се добиваат драгоцен резултати и на кои се заснова заштитата од зрачењето, како и утврдувањето на биолошките ефекти од зрачењето.

Оваа сложена зависност е дефинирана од Меѓународната комисија за радиолошки единици и мерења во 1973 г. како еквивалентна доза (H) која е изразена со производ од три фактори:

$$H = D N Q \quad (3)$$

каде што D е апсорбирана доза, N - е т.н. биолошки фактор на модификација (кој води сметка за просторната и временската распределба на апсорбираната доза, како и за осетливоста на организмот кој се озрачува), а Q е фактор кој зависи од видот на зрачењето:

α , β , γ , протони, неутрони итн. Бидејќи утврдувањето на факторот N е мошне тешко, во секојдневната практика најчесто се зема $N=1$, додека вредноста на Q е прилично точно одредена и се движи од 1 (X , γ , β зрачење) до 20 (за α -зрачењето).

Бидејќи N и Q се фактори без димензии, N ќе се мери во исти единици како и апсорбираната доза D . Меѓутоа, 1 Gy *апсорбирана доза* и 1 Gy *еквивалентна доза* квалитетно ќе се разликуваат: првиот ја карактеризира дозата *енергетски*, а вториот *биолошки*. Поради тоа, за еквивалентната доза е воведена посебна единица 1Sv (*сиверт*).

Дозволените дози. Поради зависноста на штетното дејство од примената доза на јонизирачки зрачења постојат мошне строги прописи со кои се утврдени т.н. *максимални дозволени дози* кои можат да се примаат во одредено време: година, месец, недела, час. Всушност, тие се гранични дози под кои штетните биолошки влијанија од зрачењето не се достапни за мерење.



Сл. 1.

Знакот претставен на сл. 1 предупредува на опасност од јонизирачко зрачење и треба да стои во сите простории и до уредите каде што е присутно зрачење.

За луѓе кои професионално се изложени на јонизирачко зрачење (за 40-часовна работна седмица) годишната дозволена доза е 50 mSv, за непрофесионално изложување на зрачење (населението, пациентите) годишната доза е 1 mSv. Со така ниски вредности на дозволените дози се обезбедува мал "радијационен ризик", мала веројатност човекот да настрада поради дејството од јонизирачко зрачење. Денес во заштитата од јонизирачко зрачење постојат доста строги прописи кои ако се почитуваат, гарантираат максимална сигурност.

5.8. РАДИОАКТИВЕН ОТПАД

Проблемот со радиоактивниот отпад (РАО) е само еден сегмент од поширокиот проблем на загадување на човековата околина со различни видови отпад што е последица на секојдневната човековата активност особено при користењето на природните материјали и ресурси.

Изворите на јонизирачки зрачења наоѓаат широка примена во науката, техниката, медицината, индустријата, земјоделството итн. како при нивното добивање, така и при нивното користење се добива материјал којшто може да се карактеризира како отпад; *непо-шребен нуспроизвод којшто и напамету е, помалку или повеќе, радиоактивен (над дозволеното ниво) и треба да се отстранува, да се дејонира, складира.* Поради неговото штетно дејство не смее ни најмал дел да дојде во биосферата. Со него треба внимателно да се ракува и транспортира. Радиоизотопите што се α и β активни се опасни како внатрешни така и како надворешни контаминенти.

Радиоактивниот цезум-137 е најраспространет радиоконтаминент. Ако е присутен во животната средина, влегува во синџирот на исхраната, се концентрира во млекото и стигнува во човечкиот организам. Така, организмот може да прими доза што е многукратно поголема од онаа во непосредната околина.

Категоризацијата на РАО се врши во прв ред според преостанатата активност што ја има, но и според видот на зрачењето, агрегатната состојба, периодот на полураспаѓање на присутните изотопи итн.

Најраспространета е оваа категоризација:

Високорадиоактивен отпад. Тој се создава при работата на нуклеарните реактори на централите. Имено, еден просечен реактор за една година работа истрошува неколку десетини тони нуклеарно гориво (spent fuel) којшто треба да се извади од реакторот и да се замени. Но, тоа гориво сè уште содржи збогатен ураниум, неколку десетини килограми плутониум, 20-30 kg маса на елементите од актинидната група, до 1000 kg други фисиони продукти итн.

Некои од присутните радиоизотопи имаат краток период на полураспаѓање, а некои многу долг.

Среднордиоактивен отпад. Овој отпад може да биде со кратко време на живот и со долго време на живот. Дел од овој отпад се создава во нуклеарките, потоа при употребата на различни средства во во индустријата кои се контаминираат, во медицината итн.

Нискордиоактивен отпад. Најчесто се создава од радиоконтаминираниите заштитни средства (ракавици, штитници, хартија, лабораториска опрема) што се користат во технолошките процеси поврзани со добивање на радиоизотопи, при користењето на радиоизотопите во медицински цели итн. При ракувањето со овој отпад не е потребна специјална заштита. Порано за овој отпад не се водело посебна грижа и се одлагал заедно со обичниот отпад, но по согледувањето на последиците што можат да се појават по здравјето на населението и за овој отпад се пропишани процедури за одлагање и складирање.

Радиоактивниот отпад со средна и ниска активност пред да се складира во пропишани складишта првин се подложува на различни постапки со кои се компактира (се смалува по волумен), се витрифицира, се упарува итн.

Целосно решавање на проблемот со радиоактивниот отпад досега не е изнајдено (комплетно отстранување од биосферата или трансформирање во нерадиоактивни елементи). Организациите што создаваат радиоактивен отпад од кој било вид се должни да имаат прописни временски или трајни складишта (армирани бетонски контејнери што се вкопуваат во геолошки формации со погоден состав да нема протоци на подземни води). Засега постојат неколку алтернативни постапки за релативно отстранување од кои најважни се:

- длабоко закопување во некои геолошки стабилни формации;
- складирање во непропусни садови и одлагање на дното на морињата.

Ова е особено важно за складирањето на високордиоактивниот отпад кој долго време ќе биде активен. Имено, употребеното гориво од реакторите може да се подложи на постапка за издвојување на отпадните радиоактивни материјали од ураниумот и создадениот плуто-

ниум (процес наречен *репроцесирање*). Двата изотопи имаат фисиони својства, повторно да се искористат како нуклеарно гориво. Плутониумот уште се употребува за полнење на нуклерани боеви глави за воени цели.

Скоро сите земји што имаат нуклеарни центри имаат изградено подземни или подводни складишта за радиоактивен отпад. Така, САД имаат складиште со капацитет од 70000 тони потрошено гориво и 8000 тони радиоактивен воен отпад. Локацијата е во планините Јука 300 m под површината на земјата. Геолошкиот состав на планинскиот масив и отсуството на подземни води гарантира најмалку 10000 години да нема пропуштање.

Дали знаете дека проблемот со отпадот од другите енергетски извори е, исто така, многу актуелен. На пример, што со отпадот што го создава една термоцентрала? Милион тони средно калоричен јаглен можат да дадат енергија колку што тоа го прави просечен нуклеарен реактор за два месеци. Но, од изгорениот јаглен се создава огромно количество отпад во цврста и гасовита состојба. Без оглед на филтрите што ги има секоја термоцентрала, добар дел од отпадот се испушта во атмосферата и потоа се враќа во облик на кисели дождови (заради присуството на сулфур диоксидот и јаглеродниот двооксид). Неколку десетини илјади тони пепел и згура се депонираат во складишта кои заземаат огромен простор.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Од кои радионуклиди доаѓа најголема опасност за здравјето на луѓето?
2. Какви ефекти врз здравјето на луѓето настануваат под дејство на јонизирачките зрачења?
3. Колкави се дозите при кои настанува смрт кај организмите? Што е акутен радијационен синдром?
4. Што е средна смртна доза и колкав е нејзиниот износ за некои животни?
5. Каква е поделбата на радиоактивниот отпад?
6. Како се решава проблемот со него во земјите што имаат нуклеарни центри?

5.9. ФИЗИЧКИ МЕРНИ МЕТОДИ И УРЕДИ ВО ЕКОЛОГИЈАТА

Физиката како наука со еден дел од пронајдоците и техниките придонесува за загадување на животната средина, но од друга страна, создала повеќе физички методи и техники за детекција на штетните материи и зрачењето, а со тоа и преземање мерки за нивно смалување или елиминирање. Овие методи се најразлични што зависи од објектот на испитување и од поставените цели. Физичките методи, во прв ред, се засноваат на:

-*детекција на зрачењето* што го дава присутниот материјал во средината затоа што е познато дека во одредени услови присутните атоми и молекули емитураат зрачење коешто може да биде во кој било дел на електромагнетскиот спектар

-*специфично заемнодејство на зрачењето* (од кој било дел на спектарот) со материјата.

На таков начин, со физичките методи може во принцип да се регистрира присуство и на многу мали концентрации на загадувачи (гасови, киселини, тешки елементи, радиоелементи итн.) присутни во средината.

1. Апсорпција на зрачењето. Спектрофотометрија

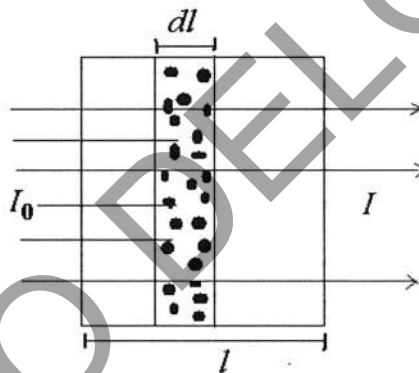
Методот се заснова на апсорпција на електромагнетското зрачење, а бидејќи најпрактично е да се работи во видливиот дел на спектарот, тоа е појавата на *апсорпција на светлината*.

Паралелен светлосен сноп со интензитет I_0 упаѓа во хомогена средина (сл. 1). По преминување низ дебелина на слојот l интензитетот станал I при што важи релацијата:

$$I = I_0 e^{-\alpha l} \quad (1)$$

каде што α е коефициент што ги карактеризира апсорпционите својства на средината, тоа е *линеарен коефициент за апсорпција* чија димензија е $[\text{m}^{-1}]$. Оттаму произлегува дека

колку коефициентот на апсорпција е поголем, толку светлината повеќе се апсорбира во средината. За различни средини α се менува во широки граници. Така на пример, за апсорпција на видливата светлина од воздухот тој има вредност 10^{-3}m^{-1} , за стакло е 1m^{-1} , за металите $10^5 - 10^6 \text{m}^{-1}$.



Сл. 1.

Апсорпцијата на светлината од раствори во прозрачен растворувач е пропорционална на концентрацијата c на растворот. Се покажало дека попрактично е ако законот се прикаже преку декаден логаритам:

$$I = I_0 10^{-\varepsilon c l} \quad (2)$$

каде што ε се дефинира како *моларен коефициент на апсорпција* (екстинкција). Во апсорпционата спектрофотометрија е важен изразот:

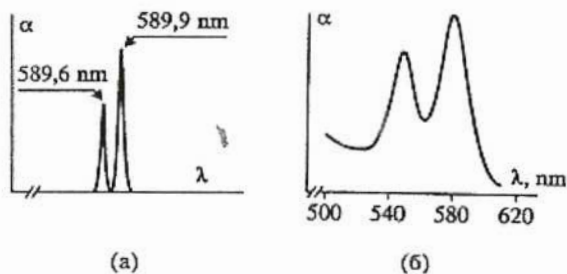
$$\log \frac{I}{I_0} = -\varepsilon c l \quad (3)$$

Односот $\tau = \frac{I}{I_0}$ е спектрален коефициент на трансмисија којшто е бездимензионална величина со вредност меѓу нула и единица и често се изразува во проценти. Величината:

$$D = \log \frac{1}{\tau} = \varepsilon c l \quad (4)$$

се вика оптичка густина или *екстинкција*. При постојана дебелина на слојот што апсорбира, таа е пропорционална на концентрацијата на растворот.

Линеарниот коефициент на апсорпција за сите супстанции зависи од брановата должина: $\alpha = f(\lambda)$ што значи дека и екстинкцијата $D = f(\lambda)$. Оваа зависност ако се претстави графички ќе го даде *спектарот на апсорпција* на дадената супстанција.



Сл. 2.

Едноатомните гасови и пареи апсорбираат само во многу тесни спектрални подрачја и во спектарот се набљудува одделна линија или група линии. Тоа се линиски или атомски спектри. Како илустрација е прикажан спектарот на пареи од натриум (сл. 2а) којшто е составен од две многу блиски линии во жолтото спектрално подрачје ($\lambda_1=589,6\text{nm}$, $\lambda_2=589,9\text{nm}$).

Инструментите за регистрација на овие спектри се викаат атомски апсорпциони спектрофотометри. Тие нашле особена примена за регистрација на микроеlementи во многу мали концентрации. Овие истражувања имаат важност во медицината, биологијата, екологијата.

Молекулски апсорпциони спектри. Апсорпционите спектри на супстанциите во течна или тврда состојба се состојат од широки ленти. Тоа се молекулски спектри. Пример на таков спектар е даден на сл. 2б - воден раствор на *оксигемоглобин* со неговите два карактеристични апсорпциони пика. Молекулските спектри се многу осетливи на промената на структурата на молекулите. Така на пример, ако во молекулата на оксигемоглобинот се замени кислородот со јаглерод диоксид, во спектарот настануваат драстични промени. Тоа дава можност за идентификација на растворените супстанции, индикација за претворби на макромолекулите на биолошките соединенија, нивните заемнодејства со други молекули итн.

Се покажало дека апсорпцијата во инфрацрвеното подрачје и спектрите на супстанцииите што притоа се добиваат даваат информации за присуството на многу органски супстанции присутни во примерокот што се мери. Така, многу загадувачи од органско потекло се детектираат со методата на спектрофотометрија: смеси на естри, алдехиди, голема група јаглевороди, бензен, CO_2 , CO , HCN итн.

Осетливоста на методите што се засноваат на апсорпција и на расејување на светлината значително се зголемила (и до стотина пати) со користење на ласерите како извори на светлина. Ласерското зрачење е насочено, монохроматско, продорно, а сето тоа обезбедува ласерскиот снап да продира многу повеќе низ средината што се испитува. Така, мерењето на интензитетот на расејаното зрачење може да даде информации за концентрацијата и видот на полутантите во дадена средина или во атмосферата.

2. Флуоресцентен метод

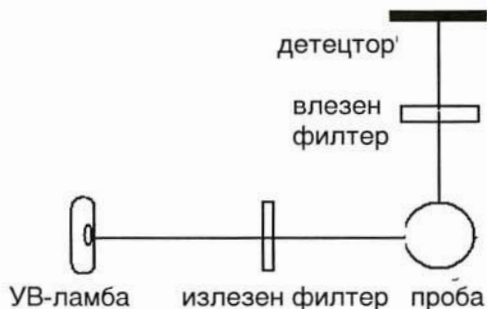
Појавата на емисија на светлина која не е придружена со емисија на топлина е позната под името *луминисценција* (ладна емисија на светлина). Со неа веќе се запознавте. Флуоресценцијата е својствена за сите три агрегатни состојби.

Флуоресцентните спектри (зависност на интензитетот од брановата должина на светлината) имаат важна информациона вредност за структурата на молекулите.

Квалитативната луминисцентна анализа ги дава истите информации како и *апсорпционата спектрометрија*. Разликата е во тоа што првата метода е многупати поосетлива и тоа прави да биде нашироко користена за анализа на фламини, витамини, триптофан во различни белковни молекули, канцерогени јаглевороди, кинин и неговите производи итн.

На сл. 3. е прикажана шема на добивање флуоресцентен спектар. Преку излезниот филтер се пропушта дефиниран снап (потребни бранови должини) од светлината од УВ-ламба (претежно зрачи во ултравиолетовото подрачје). Флуоресцентната светлина поминувајќи низ излезен филтер паѓа на осетлив детектор

кој може да биде поврзан со уред за испишување (цртање) на графикот. Како што се гледа, детекторот е поставен под 90° во однос на упадниот сноп за да се избегне упадниот интензитет да дојде во детекторот.



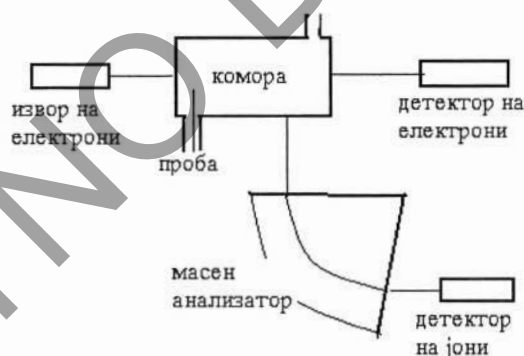
Сл. 3.

Со мерење на флуоресценцијата во лабораториски услови е можно да се откријат бактериите во млекото, количеството на радиоактивното зрачење, токсични супстанции и слично. Методот дава вредни резултати за конформацијата на (макро)молекулите, местата на сврзување, заемодејството со растворувачот, меѓу молекуларните растојанија. Флуоресцентните методи можат да се користат за локализација на супстанции во живите клетки коишто не можат да се откријат со други методи. Со флуоресцентната анализа можат да се детектираат скоро сите елементи од периодниот систем во микроприсуство $\approx 10^{-5} \%$. Флуоресцентни сонди и маркери (молекули со сопствена специфична флуоресценција) се користат за дијагностички и фундаментални иследувања на молекуларно ниво.

3. Метод на масена спектроскопија (спектрометрија)

Често пати е потребно да се одреди присуството на јони со ист полнеж Q , а различна маса M . Тоа се прави со масени спектрографи. Првиот масен спектрограф го конструирал Ф. Астон (1919 год.) и со своите мерења го потврдил постоењето на голем број изотопи помеѓу стабилните елементи.

Уредот се состои од три главни делови: извор на јониие, анализатор (филтер) и детектор. Неутралните атоми или молекули се внесуваат во јонскиот извор каде што се јонизираат со електрично празнење. Излегувајќи од изворот, јоните прво се забрзуваат во електрично поле (се пуштаат да поминат низ простор во кој е воспоставена одредена потенцијална разлика) при што достигнуваат енергија од ред $\approx 10 \text{ keV}$. Потоа доаѓаат до анализаторот каде се врши раздвојување на снопите јони со различен однос M/Q . Наједноставен анализатор е магнет со хомогено магнетно поле нормално на правецот на движењето на јоните.



Сл. 4.

Како се вршат корисни мерења за екологијата со овие инструменти? Се зема проба од средината (одредено количество атоми, молекули) и се поставува во комората каде што присутните атоми се јонизираат (под дејство на електронски сноп). Потоа се врши анализа (идентификација) на јоните и нивната застапеност со масен анализатор, а со детектори се одредува концентрацијата на испитуваната супстанција во средината од каде што е земена пробата (сл. 4) Прецизноста на масените спектроскопи достигнува до 10^{-6} .

4. Методи за детекција на јонизирачки зрачења. Детектори, дозиметри и радиометри

Присуството на јонизирачко зрачење потребно е да се детектира затоа што изложувањето на живите организми на ова зрачење има штетни последици. Зрачењето во прв ред

предизвикува јонизација и затоа голем број детектори се засноваат на регистрирање на јоните и електроните создадени во средината каде што поминало јонизирачко зрачење. Сите детектори се наменети за детектирање на наелектризираните честици иако со нив можат да се детектираат и неутрони и γ -зрачење. Неутроните се детектираат индиректно преку наелектризираните честици коишто се добиваат во реакциите на неутроните со одредени атомски јадра. Преку јонизацијата од тие честици се детектираат неутроните. Гама зрачењето се детектира преку секундарните ефекти (фотоефект, Комптонов ефект, произведување на парови ($e^+ - e^-$)).

Уредите за мерење на дозиметриските величини се нарекуваат *дозиметри* и *радиометри*. Со првите се мери апсорбираната доза и експозицијата, а со вторите се мери активноста на радиоактивните извори. И едните и другите се состојат од:

- *Дозиметриски детектор*, средина осетлива на озрачување каде што јонизирачкото зрачење предизвикува некаков ефект што е пропорционален на некоја дозиметриска величина. Претворбата најчесто е во електрична величина.

- *Мерен уред* кој, во прв ред, зависи од употребениот детектор. Кај детекторите што даваат електричен сигнал мерниот уред е електронски блок чија главна задача е да ги засили слабите електрични сигнали што доаѓаат од детекторот. Уредот треба да има електронски бројач на импулсите. Кај некои радиометри излезнаот електричен сигнал се трансформира во звучен сигнал.

Потребна е висока осетливост на дозиметрите и радиометрите за мерење на ниски вредности на дозиметриските величини. Така на пример, големата осетливост на сцинтилационите детектори и на мерните уреди што се користат заедно со нив дава можност да се добијат информации за видот и количеството на јонизирачкото зрачење.

За детектирање на наелектризираните честици се, главно, две методи:

- а) *детектирање преку броене на честичките* по електричен пат (*бројачи*);

- б) *детектирање преку визуелно набљудување*

на трагите на наелектризираните честици (*трагови детектори*).

Со помош на *бројачите* се регистрира премин на честицата низ определен дел од просторот во даден момент со макроскопска точност (cm или mm за место, 10^{-4} до 10^{-9} s за време). Освен тоа, со некои типови бројачи можат да се определат и карактеристиките на честиците како: *енергија, електричен полнеж, брзина, маса*.

Во *траговите регистрирачки* наелектризираните честици оставаат траги. Трагите се фотографираат; затоа со овој тип детектори може да се добие покомплетна информација (отколку во бројачите) за правецот на движење на честицата, за процесите на судирање со други честици, за нејзиното распаѓање и низа други карактеристики на честицата. Траговите регистратори се одликуваат со тоа што за добивање на одредени податоци треба подолготрајна анализа на резултатите од мерењата.

Гасни бројачи. Гајгер-Милерови бројачи (Geiger – Müller)

Тоа се бројачи чијашто работа се заснова врз принципот на гасно празнење. Осетливиот медиум им е гас во којшто преку електроди се создава електрично поле, а се регистрира *напонски импулс* што се појавува како резултат на електрично празнење во гасот при премин на јонизирачки честици низ него. Во овие бројачи суштинска улога игра *секундарната јонизација* во гасот, празнењето е самостојно, т.е. такво што кога еднаш ќе се појави, ќе постои и без надворешна јонизација ако не се преземат посебни мерки за негово гаснење.

Трагови детектори. Фотографски и јонографски емулзии

Фотографската метода на детекција на јонизирачките зрачења изврши големо влјание врз развојот на нуклеарната физика уште од откривањето на радиоактивноста (А. Бекерел, 1896). Преминот на јонизирачка честица низ фотографската емулзија ги активира зрната од сребро бромидот ($AgBr$) во нејзиниот состав, и

по хемиската обработка на емулзијата (развивање и фиксирање), се добива трага од развите зрнца на Ag по должината на патот на таа честичка. Трагата претставува низа црни ѝочки од метално сребро.

Јонографските (нуклеарните) емулзии се одликуваат со *големо количество* AgBr (до 80%), *мали димензии на зрнци*, дијаметарот на зрната е од 0,1 до 0,6 μm , (кај обичните емулзии од 1 до 3,5 μm), *големи дебелини*; од 20–2000 μm , (кај обичните емулзии 1–3 μm).

Незгодна страна им е таа што анализата на експериментот е издвоена од самиот експеримент, со што евентуалните недостатоци ќе бидат увидени дури по анализата на резултатите.

Овој тип детектори се користат за детекција на јонизирачки честички со ниски енергии, како и за космичкото зрачење (високи енергии). Со нив може да се регистрираат и неутроните на тој начин што поради судирите на неутроните со јадрата на водородот, со кој емулзијата е многу богата, се добиваат одбиени протони што се регистрираат во емулзијата.

Вилсонова експанзиона комора. Тоа е систем во кој извесен волумен е исполнет со гас – воздух и заситени пареи од вода или смеса од вода и етил алкохол.

Сцинтилациони детектори. Кај овие детектори се користи појавата на радиолуминисценција. Детекторите се неоргански или органски кристали наречени сцинтилатори.

Полупроводнички детектори. При озрачување со јонизирачки зрачења, електроспроводноста на полупроводниците нагло се зголемува; оваа појава е основа на дозиметријата со полупроводнички детектори.

Термолуминисцентни детектори (TLD). Тие се неоргански полупроводници во коишто јонизирачкото зрачење создава слободни електрони и шуплини. Возбудената состојба на полупроводникот останува некое време бидејќи за ослободување на електроните и шуплините од местата каде останале е потребна надворешна енергија (на пример, загревање). Притоа дел од нив рекомбинираат при што се ослободува светлина (рекомбинациона

луминисценција). Флуксот на термолуминисценција е пропорционален на апсорбираната доза. Се мери со фотомултипликатори.

Најраспространет TLD дозиметар е литиум флуоридот LiF. Големата осетливост на TLD дава можност за користење на детектори со мали димензии (маса 0,01–0,1 g). Малите димензии и сочувувањето на дозната информација ги прави овие инструменти како најпогодни мониторинжни дозиметри. Така, со LiF TLD се прави дозиметрија *in vivo* при радиобиолошки експерименти со животни.

Мерењето на термолуминисценцијата може да се направи и неколку дни по озрачувањето. Затоа, LiF TLD се користат од Меѓународната агенција за атомска енергија (IAEA) како поштенски дозиметри за меѓународни споредбени мерења. Агенцијата испраќа комплекти TLD во националните дозиметарски лаборатории со задача да бидат озрачени со определена доза. Овие по озрачувањето ги враќаат назад со што се остварува можност за споредби и уточнување на инструментацијата кај различни лаборатории.



ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Од што зависи апсорпцијата на светлината во некоја средина? Според кој закон опаѓа нејзиниот интензитет?
2. Каква е разликата меѓу линиските атомски спектри и молекулските спектри?
3. Кои податоци може да даде мерењето на флуоресценцијата? Каде се користи оваа метода?
4. Кои се основните делови на еден масен спектрометар?
5. Кои методи се користат за детектирање на јонизирачки зрачења?
6. Што се мери со дозиметрите, а што со радиометрите?
7. Кој е најраспространет термолуминисцентен дозиметар?
8. Како може да се детектираат неутроните?

5. 10. АЛТЕРНАТИВНИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈАТА

Се проценува дека фосилните горива (јаглен и нафта) што денес во најголема мерка се користат како извори на енергија ќе бидат исцрпени за 20-30 години. Светската популација има огромен прираст, а со тоа и потребите за енергија, така што цената на енергијата добиена од тие извори е во постојан пораст. Но, и цената на енергијата добиена од нуклеарното гориво, исто така, е во пораст поради сè поголемите барања за сигурност и безбедност на нуклеарните постројки.

Но, како што беше кажано порано, користењето на овие видови горива создава отпад којшто ја загадува животната и работната околина и создава еколошки проблеми. Еден од најсериозните проблеми е т.н. ефект на "стаклена бавча" што го изучивме во овој курс. Сите тие проблеми наведуваат на потреба од барање на нови, алтернативни видови енергија коишто треба да исполнуваат неколку битни критериуми:

- да не се трошат неконтролирано достапните ресурси;
- да не ја загадуваат животната средина;
- цената на добивање на енергијата да биде прифатлива.

Во алтернативните извори на енергија во прв ред спаѓаат:

- *геотермалната енергија*;
- *сончевата енергија*;
- *енергијата на нуклеарна фузија*.

Во овие извори може да се вклучи и *еолската енергија* (ветерот).

Геотермалната енергија се добива од топлината на земјината кора и се користи во оние земји каде што има природни извори на топла вода и пареа. Така, во Исланд каде што има голем број вакви извори, топлата вода служи за загревање на домовите и други потреби. Има земји каде геотермалната енергија се користи за добивање на електрична струја.

Сончевата енергија е основен извор на енергија што стигнува до Земјата и ја загрева, обезбедува одвивање на сите процеси, ја овоз-

возможа појавата на живот на планетата. Ако не е Сонцето, Земјата би била обична без-животна вселенска материја. Од широкиот спектар на сончевото електромагнетско зрачење до Земјата стигнува зрачењето во видливиот и блискиот инфрацрвен дел на спектарот.

Енергијата што ја добива Земјата од Сонцето се конвертира во енергија на водите (механичка, а потоа се добива електрична енергија), енергија на ветерот, енергија за одвивање на фотосинтезата итн. Така, во основата на сите енергетски извори лежи сончевата енергија (цврстите, течните и гасните горива се создале поради сончевата енергија).

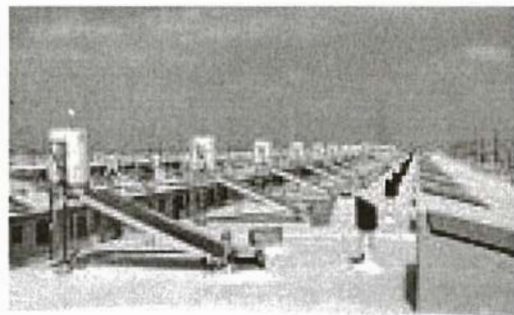
Кога се зборува за сончевата енергија како алтернативна енергија се мисли на нејзиното директно непосредно користење:

1. *Топлотна енергија* за загревање на просторот. Системите за оваа намена се составени од повеќе делови од кои најважни се:

-*колектор* каде што настанува зафаќање (апсорпција) на сончевата енергија и се добива топлотна енергија (сл.1);

-*резервоар* за зачувување (стокирање) на непотрошената енергија за користење преку ноќта или во облачни денови;

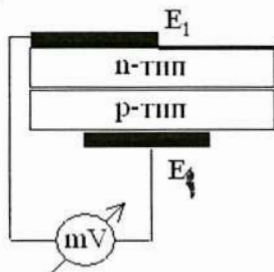
-*преносен систем* од местото на добивање до местото на користење на енергијата. Како средство-флуид за пренос на топлината најчесто се користи вода.



Сл. 1.

2. *Електрична енергија* добиена во соларните системи за директна конверзија на сончевата енергија во електрична. Тоа се постигнува со *фотонапонски ќелии* коишто се направени од полупроводнички материјали, Si, Ge, Se, односно соединенијата CdS, GaAs и други. Шематскиот приказ на фотонапонска

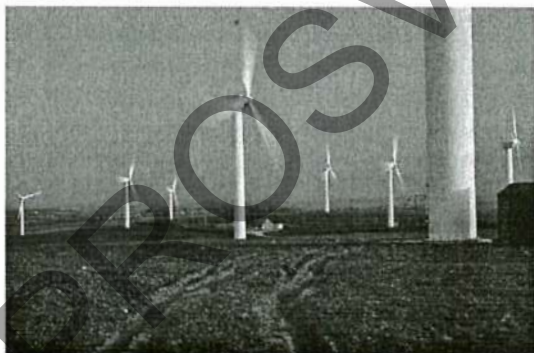
келѝа врз база на п-тип и р-тип на полупроводник е даден на сл. 2.



Сл. 2.

Кога врз системот паѓа светлина, се појавува напон кој се доведува на милливолтметар со електродите E_1 и E_2 . Ваквите келѝи имаат широка употреба како извори на електрична енергија за станбени објекти. Но, мора да се признае дека досега конструираните системи имаат мала ефикасност на конверзија на соларната енергија во електрична $\approx 20\%$ што се смета за недоволно, а згора на тоа се големи и трошоците за сторирње на енергијата (батериѝи и слично) за преку ноќ.

Ако имате калкулатор или рачен часовник за кого не треба да купувате батерија, тогаш вашиот уред има соларна келѝа. Погледајте внимателно, тоа е онаа врамена темна површина на предната страна.



Сл. 3.

И енергијата на *ветероѝ* може да се користи. Уредите - *ветерниѝи* (сл. 3) за ваков вид енергија ги имаат во многу земји, но нивната енергија е само за задоволување на потребите за енергија на мали објекти. Засега, учеството на оваа енергија во вкупните потреби е занемарливо мало.

Нуклеарна фузија. Нуклеарната фузија (синтеза на јадрата) е процес обратен на фисијата. При нуклеарната фузија две многу *лесни* јадра се комбинираат за да формираат *пошешко* јадро. Притоа се ослободува енергија. Енергијата што се зрачи од Сонцето и другите ѕвезди е резултат на реакции на фузија што се одвиваат во внатрешноста каде што владеат многу високи температури ($\approx 10^7$ K). Реакциите што се одвиваат со помош на многу високи температури се наречени *термонуклеарни реакции*. Тие се опишани во поглавјето 3.18.

Процес на фузија што може да се искористи е спојувањето на *деутероѝ* и *тритиоѝ* во јадро на хелиум при што се ослободува многу голема енергија. Во хидросферата на Земјата има доволно термонуклеарно гориво; се проценува дека има околу $4 \cdot 10^{13}$ тони деутериум. Но, проблемите што треба да се надминат за да може да се реализира *контролирана фузија* за добивање на енергија се мошне големи. Треба да се создадат високи температури од ред 10^8 K и да се одржува загреаната плазма (јадра на деутериум и трициум) одредено време τ во даден волумен. Најдено е дека интензитетот на фузионите реакции многу зависи од концентрацијата на јоните во плазмата n : колку поголема е концентрацијата, за покусо време ќе се изврши фузија на одредено количество јадра. Овој услов е т.н. *криѝериум на Лоусон*, кој дава врска меѓу концентрацијата и времето τ при дадена температура T

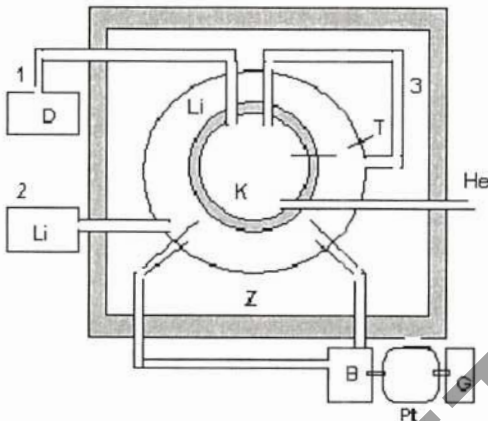
$$n\tau = 10^{16} \text{ cm}^{-3} \text{ s}; \quad T = 10^9 \text{ K}$$

Повнимателните веднаш ќе постават прашање зошто е потребно да се достигнува толку висока температура кога се знае дека фузионите процеси во внатрешноста на Сонцето се одвиваат на пониска температура ($\approx 10^7$ K). Одговорот е во фактот што поради огромните притисоци во внатрешноста на Сонцето концентрацијата на плазмата е скоро 10^{26} чест./ cm^3 што во Земјини услови е невозможно да се постигне.

Стабилни услови во плазмата многу тешко се одржуваат и тоа е главниот технички проблем за остварување на контролирана фузија. За да се запали "фузионото кибритче"

потребно е високотемпературната плазма да се одржи во тек на време најмалку една секунда, што досега не е достигнато.

Задржувањето на високотемпературната плазма да не допира до ѕидовите на садот се врши со помош на магнети од суперспроводни материјали со кои се создаваат магнетски полиња со одреден профил (магнетна термоизолација).

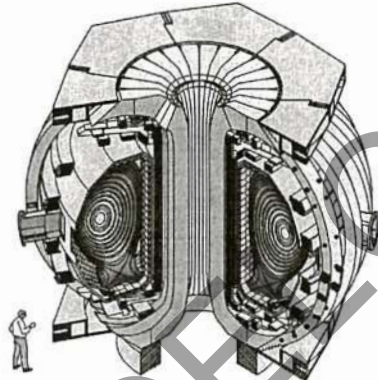


Сл. 4.

Типична шема на еден фузионен реактор е како на сл. 4. Во комората К се наоѓа плазма од деутерони D и тритони T, а околу се наоѓа литиумот Li. Од левата страна преку системите (1) и (2) се внесуваат деутериумот и литиумот. При реакцијата на деутерон и тритон се добива ^4He и високоенергетски неутрони.

Неутроните преку ѕидот на комората преминуваат во просторот каде што има литиум и со реакција се добива трициум кој се внесува во комората преку системот (3). Ослободената енергија во комората преку топлоизменувач Z и парогенератор В се носи во парна турбина Pt поврзана со генератор на струја G.

Во поново време интересот на научниците од оваа област особено е свртен кон еден тип на фузионни реактори наречени ТОКАМАК (тороидална комора со магнетно поле) за коишто се мисли дека имаат особена перспектива (сл. 5).



Сл. 5.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Колкави се процените за резервите на фосилните горива ако се трошат со денешно темпо? Кои се алтернативни извори на енергија?

2. Како се изградени фотонапонските ќелии? За што се користат?

3. Која е предноста на добивање енергија со помош на фузија на лесни јадра во однос на фисијата?

4. Кое би било основното гориво за процесите на контролирана фузија?

5. Кои величини ги поврзува критериумот на Лоусон за одвивање на фузија?

6. Кој тип на фузионни реактори се смета дека имаат добри перспективи за употреба?

7. Колкава температура е потребна за термојадрена фузија на водородот?

Одговор: два протона и два неутрона да формираат He потребно е кинетичката енергија на протоните ($E_k = \frac{3}{2} kT$) да го надмине нивното

кулоново одбивање ($E_p = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R}$) каде што

$R = 10^{-15} \text{ m}$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$. Се добива:

$T \geq \frac{1}{6k\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{R}$, односно $T > 10^{10} \text{ K}$. Оваа T е скоро

1000 пати поголема од T во внатрешноста на Сонцето, а сепак, таму се одвиваат термонуклеарни процеси. Зошто е можно тоа?

6. ФИЗИКА НА КОМУНИКАЦИИТЕ

АНАЛОГНО-ДИГИТАЛНА КОНВЕРЗИЈА

SAMPLING RATE

SAMPLING PRECISION

КОМУНИКАЦИОНИ СИСТЕМИ

ТЕЛЕФОНСКА МРЕЖА, FDMA, TDMA, CDMA, GSM

ТЕЛЕВИЗИСКА МРЕЖА

ИНТЕРНЕТ, LAN, HUB, SWITCH, IP, DNS, HTTP, FTP

КОМПАКТ ДИСК- ПЛЕЕР

ЦД, ЦД ПЛЕЕР, ЦД ПИШУВАЧ, ДВД

ФИБЕР ОПТИЧКИ КОМУНИКАЦИИ

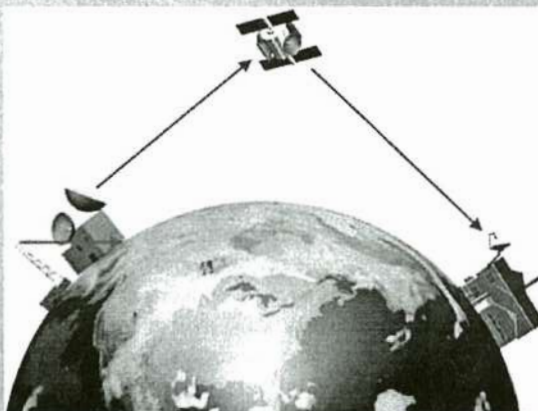
ОПТИЧКИ ВЛАКНА

ОПТИЧКИ РЕГЕНЕРАТОР

ЗАСИЛУВАЧИ

КОЕФИЦИЕНТ НА ЗАСИЛУВАЊЕ

НЕГАТИВНА И ПОЗИТИВНА ПОВРАТНА СПРЕГА



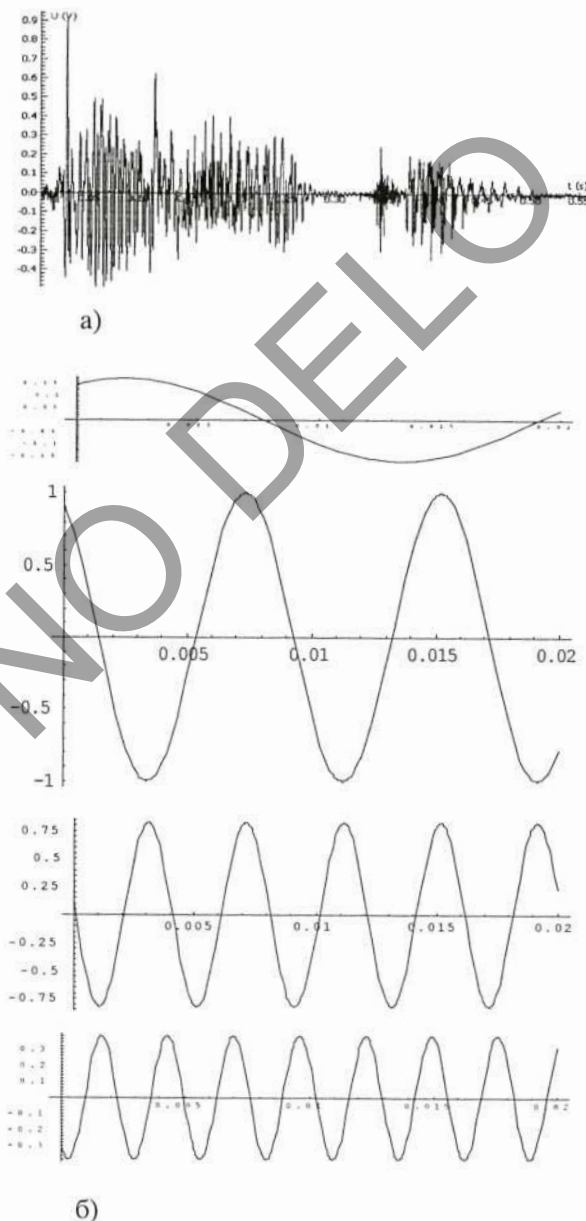
6.1. АНАЛОГНО-ДИГИТАЛНА КОНВЕРЗИЈА

Во секојдневieto често се сретнуваме со сигнали, сигнали кои доаѓаат од радио и телевизиски станици, сигнали од инструменти и сензори кои мерат најразлични физички величини, сигнали кои стигнуваат од вселенскиот бескрај. Сите тие сигнали се аналогни. Под **аналогно** се подразбира секоја промена која се менува континуирано. Во литературата може да се најдат најразлични дефиниции за тоа што е аналогно, но најдобро може да се сфати преку пример.

Првиот уред за снимање на сигнали, односно звук, наречен фонограф, го конструирал Томас Едисон (Thomas Edison) 1877 година. Тој на една инка ставил игла, иглата била во контакт со фолија, која била нанесена на еден цилиндар што ротирал. Кога некој зборувал во инката, звучните бранови предизвикувале осцилирање на инката, а таа, пак, на иглата. Иглата ја гребела фолијата и на тој начин звукот бил снимен. Значи, гребнатинката се менувала континуирано, како што се менувал и звукот. Тоа е првата аналогна снимка на некој сигнал. Десет години подоцна Емил Берлинер (Emil Berliner) го подобрил овој уред и така го конструирал грамофонот и грамофонските плочи, кои денеска ги користат и DJ-ите. Снимката на аудио и видеолентите е, исто така, аналогна, само со таа разлика што кај нив "гребнатинката" не е механичка, туку е електромагнетна.

На сл. 1.а е прикажан график на континуиран сигнал снимен при изговорање на зборот "ФИЗИКА". На вертикалната оска е нанесена промената на напонот индуциран во микрофонот, а на хоризонталната оска времето. Секој ваков континуиран сложен (анхармониски) сигнал е збир од повеќе синусоидални (хармониски) сигнали. Тоа значи, ако се соберат сигналите прикажани на сл. 1.б ќе се добие сигналот од сл. 1а.

При снимањето на сигнали или звук, постојат две основни цели. Првата е да се



Сл. 1.

направи таква снимка која при репродукцијата ќе даде верна слика на оригиналниот сигнал. Кратенката Hi-Fi со која често се сретнуваме доаѓа токму од англискиот термин High Fidelity, што значи "висока верност". Втората цел е снимениот сигнал да даде верна репродукција на оригиналниот звук, секогаш кога ќе се

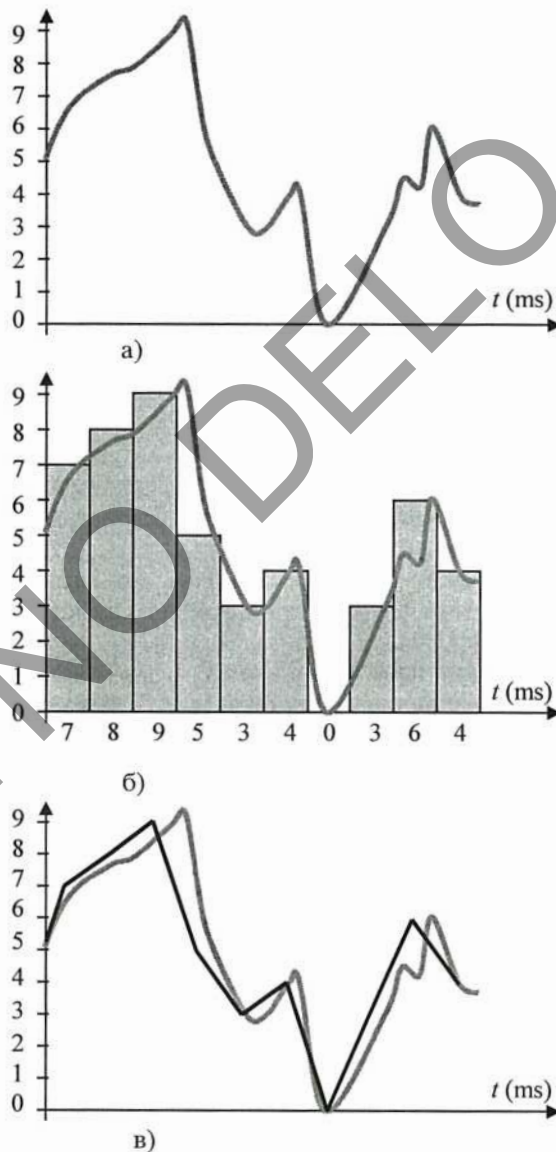
пушти, односно репродуцира снимката, независно од тоа колку пати таа била пуштана.

За да се постигнат овие цели, аналогниот сигнал се преведува во низа од броеви. Така сега наместо да се сними аналогниот сигнал, се снима низата од броеви. Репродукцијата на сигналот, односно звукот, ќе биде иста, сè додека тие броеви не се уништат.

Како се врши конверзијата од аналоген во дигитален сигнал?

Да претпоставиме дека имаме еден аналоген сигнал претставен на сл. 2а. Една цртчица на временската (хоризонталната) оска претставува една 1 ms. Кога се конвертира овој сигнал во дигитален, потребно е да се контролираат две величини: **бројот на семплови во секунда** (sampling rate) и **бројот на нивоа на квантирање** (sampling precision). Во нашиот случај нека имаме 1000 семплови во секунда (по еден во 1 ms) и нека имаме 10 нивоа на квантирање, од 0 до 9. На сл. 2б е прикажано како изгледа аналогниот сигнал од 2а после дигиталната обработка. На вертикалната оска се нанесени нивоата на квантирање од 0 до 9. Сивите правоаголници ги претставуваат семпловите, по еден секоја милисекунда. Во дното на сликата, под секој семпл се наоѓа број којшто го определува нивото на квантирање. Овие броеви се дигитална репрезентација на оригиналниот аналоген сигнал. При репродукција на дигиталната снимка, потребно е да се изврши конверзија на дигиталната снимка во аналогна. Притоа на излезот се добива сигнал прикажан на сл. 2в со тенка црна линија.

Се гледа дека овој сигнал не е баш верен на оригиналот (сл. 2а). Ова отстапување помеѓу двата сигнали се вика **грешка на семплување**. Таа грешка може да се намали со зголемување на бројот на семплови во секунда и бројот на нивоа на квантирање. На сл. 3 е даден пример како би изгледал аналогниот сигнал од сл. 2 кога би се обработил со двојно поголем број на нивоа на квантирање, дваесет и двојно повеќе семплови во единица време, 2000 семпла во секунда (сл. 3а). Се гледа дека во овој случај семпловите, односно сигналот при репродукција поверно го следи оригиналниот сигнал. Тоа е уште поизразено кај случајот на семплување со четириесет нивоа на квантирање и 4000 семпла во секунда (сл. 3б).



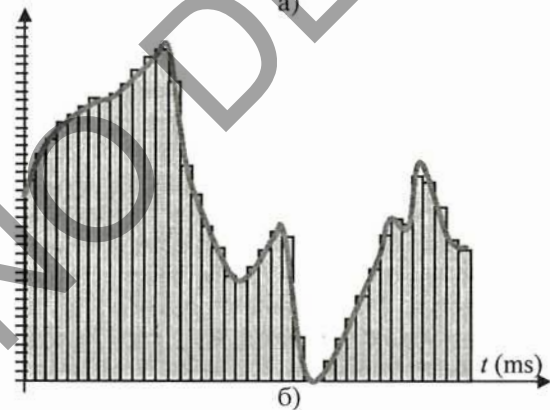
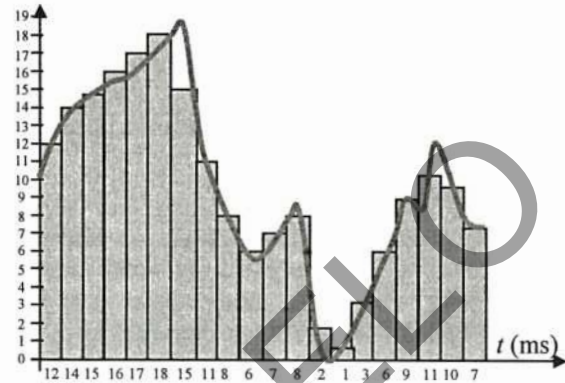
Сл. 2.

Денеска на секој чекор се сретнуваме со уреди кои вршат конверзија од аналогни во дигитални сигнали (АД конвертори). На пример, тоа се сите интерфејси кои се користат во компјутеризирани лаборатории, фабрики и работилници. Инструментите кои/ главно, даваат аналогни сигнали на излезот, се приклучуваат на интерфејс, кој има задача сигналот да го дигитализира и да го испрати на

компјутерот. За жал, оперативните системи како што се Windows 95/98 и Windows NT4.0 имаат една негативна карактеристика. Постои нешто што се вика real time мерење. Тоа е мерење кое овозможува да се набљудуваат резултатите во текот на самото мерење. Значи, секоја вредност што ќе се измери веднаш се прикажува на график или во табела. Windows 95/98 и Windows NT4.0 и практично сите оперативни системи со коишто сте се сретнале во својата пракса се системи кои може да работат повеќе операции едновременно (multitasking). Секоја од овие операции, па и мерењето, може да биде накратко прекината од останатите и дел од мерените вредности да се изгубат. Ова е посебно проблем кога станува збор за мерења што се вршат со голема фреквенција. За да се реши овој проблем се додава посебен автономен процесор во интерфејсот, кој го контролира мерењето и ги чува податоците од мерењето во посебна локална меморија. Тоа се таканаречени *вгнездени системи* (embedded systems). Подоцна, кога системот е слободен и не може да биде прекинат од некоја друга операција, податоците се испраќаат на компјутерот. Еден таков систем е и интерфејсот CoachLab2, кој може да се најде во кабинетите по физика во средните училишта.

Уредите кои ја вршат обратната функција, конвертираат дигитални сигнали во аналогни, се викаат ДА конвертори и се, исто така, дел од нашето секојдневие. Секој плеер кој треба да прочита некој диск, независно од форматот во кој податоците се снимени на тој диск (CD, DVD, DivX, MP3), дигиталната информација мора прво да ја преведе во аналогна, а потоа да ја испрати на некој уред кој ќе ја претвори таа информација во звук, слика или движење.

Конечно, многу често се случува ваквите уреди да ги вршат и двете конверзии. Тоа се АДА конвертори. Таков еден конвертор е, на пример, модемот, кој се употребува со компјутерот за да се сурфа на Интернет. Дигиталната информација од компјутерот, тој ја претвора во аналогна и ја испраќа во телефонската мрежа. И обратно, аналогната информација што пристигнува од мрежата, тој ја претвора во дигитална и ја испраќа на компјутерот, за да



Сл. 3.

можеме ние да ја видиме, слушнеме или меморираме на некој од медиумите.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како изгледа аналоген сигнал?
2. Која е целта на дигитализирањето на сигналите?
3. Од што зависи квалитетот на дигитализацијата? Кои се двете величини кои го определуваат тоа?
4. Што е грешка на семплување?
5. Кои АД и ДА конвертори ги знаете?
6. Што е вгнезден систем и зошто е воведен?

6.2. КОМУНИКАЦИОНИ СИСТЕМИ

Малку историја

Од своето прво појавување на лицето на Земјата луѓето се обидуваа да комуницираат. Во почетокот тоа била многу едноставна комуникација преку звуци коишто човекот ги испуштал, односно разговор и се одвивала помеѓу двајца или повеќе поединци кои биле блиску еден до друг. Подоцна, за да можат да остават порака, луѓето почнале да ги употребуваат цртежите. Како се развивала цивилизацијата, така се зголемуваа потребите на човекот, меѓу другото, и за комуникација. Човекот се обидувал да комуницира на далечина, испраќајќи сигнали од чад, звучни сигнали со помош на барабани и писма со помош на коњи и гулаби. Оставањето пораки и тоа не кратки, уште повеќе добило на интензитет во 1450 година со појавата на техниката за печатење воведена од Гутенберг. Работите почнуваат од корен да се менуваат во средината на деветнаесеттиот век. Во 1844 година Семјуел Морз (Samuel Morse) ја испратил првата телеграфска порака. Комуникациите добиле нов квалитет кога во 1876 година Александар Греем Бел (Alexander Graham Bell) го конструирал првиот телефон. Малку се знае дека во исто време, независно од Бел, и Илајша Греј (Elisha Gray) конструирал телефон, меѓутоа правната битка во докажување на авторските права, сепак, ја добил Александар Бел. Овој начин на комуницирање е "жичен". Џејмс Клерк Максвел (James Clerk Maxwell) во 1860 година го предвидел постоењето на електромагнетните бранови, а во 1886 година Хајнрих Херц (Heinrich Hertz) покажа дека постои начин тие да се пренесуваат без помош на жици. Тоа била добра основа која можела да се искористи за конструирање на нешто ново што се вика радио. Во многу книги може да се најде податок дека радиото прв го конструирал Гуљелмо Маркони (Guglielmo Marconi) во 1899 година. Но, всушност,

Никола Тесла е тој којшто прв конструирал радио. Својот патент, брод контролиран со радио бранови, тој го прикажал на изложба во 1898 година и истата година го заштитил. Недоразбирањето во врска со тоа дали Маркони или Тесла е првиот конструктор на радиото е решено 1943 година, кога е признаен патентот на Тесла. Првата интерконтинентална радио-порака била испратена 1902 година. Тоа е моментот кога започнува глобализацијата на комуникациите. Во почетокот на дваесеттиот век голема група научници и конструктори работеле на конструирањето на телевизијата, за веќе во 1930 година BBC (Би-Би-Си) да почне да емитува редовна програма.

Глобализацијата доби на интензитет и квалитет со првиот телекомуникационен сателит INTELSAT 1 во 1965 година. Веќе 1969 година, со помош на ИНТЕЛСАТ 3, е компетиран првиот глобален сателитски комуникационен систем.

Во 1969 година за прв пат се појавува Internet, но под името ARPANET. Во 1978 година компјутерите од неколку универзитети во САД и Европа за прв пат се поврзуваат на Интернет со помош на INTELSAT.

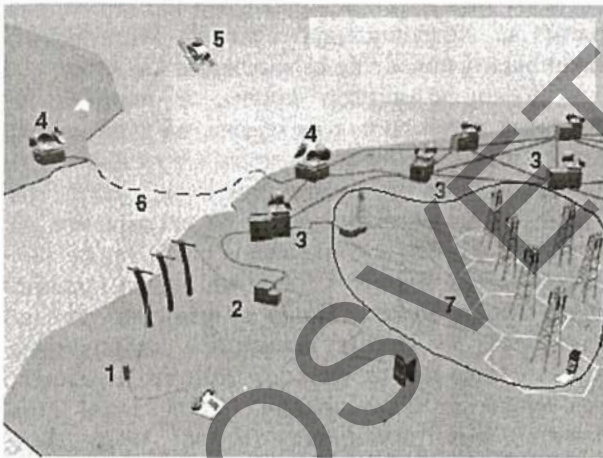
Во исто време се развива и телефонијата. Во средината на дваесеттиот век се прават првите напори за воведување на мобилните телефони, за конечно во 1979 година да почне да работи првиот комерцијален систем за мобилна телефонија.

Тука некаде застанува историјата на телекомуникациите. Барем сега засега. Се разбира, нивниот развикот не застанува. Но, ова што беше досега кажано се корените на денешната современа комуникација. Сите овие технологии, обидувајќи се да се надополнат една со друга, дадоа нови приоди и нов квалитет во комуникацијата. Она што е заедничко за сите е дека тие се дел од една глобална комуникациона мрежа. Како изгледа тоа?

Телефонска мрежа

Комуникационата мрежа е составена од помали подмрежи, а тие од уште помали.

Историски, телефоните се оние што се појавија први, па да тргнеме да ја расплеткуваме мрежата од нив. Сите телефони во вашето соседство се поврзани на телефонската кутија, која се наоѓа на блиската бандера. Оттаму сигналот оди до локалната централа, а оттаму до главната централа (сл. 4). Оттука, преку оптички кабли сигналот се води до друга главна централа или до централата за меѓународни разговори, во зависност од тоа каде сакате да разговарате. Од централата за меѓународни врски, преку сателитската антена или оптичкиот кабел под океанот, сигналот се испраќа до сателитот којшто се наоѓа во геостационарна орбита околу Земјата и тоа над нашата држава. Оттаму сигналот го оди обратниот пат. Преку меѓународната, главната и локалната централа, доаѓа до телефонската кутија и конечно до телефонот.

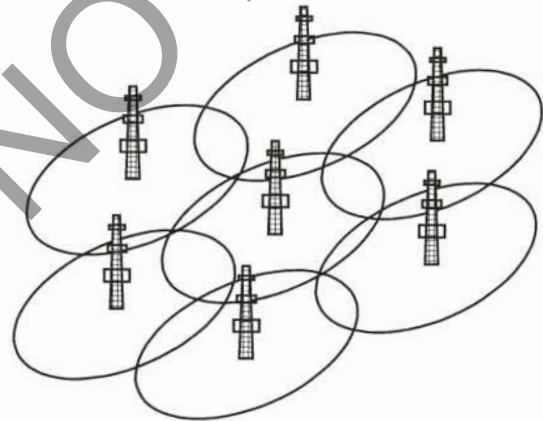


Сл. 4. Телефонска мрежа:

- 1: телефонска кутија; 2: локална централа;
3: главна централа; 4: централа за меѓународни
разговори; 5: комуникационен сателит;
6: оптички кабел; 7: систем за мобилна телефонија.

Но, човекот сака да се движи и да комуницира. Затоа измислил подвижен, мобилен телефон. Во средината на дваесеттиот век постоеле подвижни радиотелефони кои имале

многу моќни предаватели, за да може сигналот да стигне до телефонската централа. Тоа било непрактично, па затоа во седумдесеттите години се развива нов систем со ќелии. Овој систем претпоставува поставување многу примопредаватели чии полиња на дејство се допираат (сл. 5). Тоа се таканаречени **базни станици**. Така, сега телефонот во секој момент е во близина на некоја базна станица и не мора да има многу моќен предавател. Кога телефонот ќе излезе од полето на едната базна станица, тој веднаш преоѓа во полето на друга, па така врската не се прекинува. Овие локални полиња личат на клетки, па затоа во некои земји оваа телефонија се вика целуларна или клеточна.



Сл. 5. Ќелиите од мобилната телефонија со базните станици

Во светот постојат неколку системи на мобилна телефонија:

- FDMA (Frequency Division Multiple Access), каде што секој од телефоните работи на различна фреквенција во фреквентно подрачје од 800 MHz. Овој систем е погоден за пренос на аналогни сигнали;
- TDMA (Time Division Multiple Access) е систем којшто овозможува сигналот да се дигитализира и компресира; тоа од своја страна

овозможува многу пократко време за пренос на сигналите; тоа го прави овој систем три пати побрз од FDMA; тој може да работи во фреквентно подрачје од 800 MHz и 1900 MHz;

- CDMA (Code Divison Multiple Access) системот му доделува на секој повик соодветен код и фреквенција;

- GSM (Global System for Mobile Communications) во основа е ист со TDMA системот; разликата е во тоа што кај GSM постои дополнително кодирање на сигналот за поголема безбедност. Овој систем е најраширен во светот, во Европа, Азија и Австралија оперира во фреквентните подрачја од 900 MHz и 1800 MHz, а во САД од 1900 MHz.

Телевизиска мрежа

Во исто време, на сличен начин и телевизијата ги користи сателитите. Сигналот од телевизиското студио со помош на оптички кабел се носи до сателитската антена која го испраќа сигналот до сателитот и понатаму сигналот може да се испраќа до која било точка на планетата. Ако станува збор за локална телевизија и нема потреба од сателитски пренос, сигналот повторно со оптички кабел се носи до локалниот предавател. Ако треба тој сигнал да се пренесе подалеку, тој се насочува со антена слична на сателитската кон други центри, таканаречени репетитори, кои го примаат тој сигнал, го засилуваат и го реемитуваат понатаму.

Кога зборуваме за сателитите, во последно време има една новина, а тоа е што до пред некоја година сателитите емитувале аналоген сигнал во фреквентното подрачје од 3,4 GHz до 7 GHz, а сега дигиталниот сигнал го емитуваат во фреквентното подрачје, од 12 GHz до 14 GHz. Ова не треба да се помеша со фреквенцијата на која емитуваат телевизиските станици. Тие емитуваат во три фреквентни подрачја, и тоа:

- 54 MHz до 88 MHz, што одговара на каналите од 2 до 6;

- 174 MHz до 216 MHz, што одговара на каналите од 7 до 13;

- 470 MHz до 890 MHz или UHF подрачје, што одговара на каналите од 14 до 83.

Денеска телевизиските станици емитуваат, главно, во UHF подрачјето.

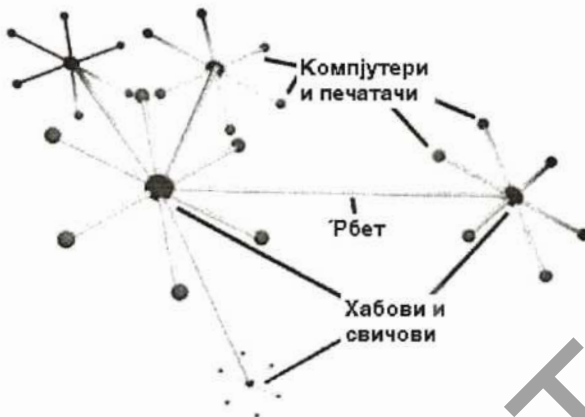
Да расчистиме уште една работа. Тоа што сателитите емитуваат дигитален сигнал, не значи дека тоа е дигитална телевизија. Едноставно аналогниот сигнал пред да се испрати на сателитот се дигитализира. Така тој се реемитува од сателитот и стигнува на другиот крај од Земјата, каде што се претвора повторно во аналоген сигнал и таков се испраќа до телевизиските приемници.

Интернет

Последниве години сè повеќе и сè побргу најголем извор на информации и најинтензивно место за комуникација станува Интернетот. Затоа малку повеќе ќе се задржиме кај него.

Секој компјутер којшто е поврзан на Интернет е дел од некоја мрежа, па дури и оние што ги имате во своите домови. Се разбира, тие не се дел од мрежата non-stop, туку тоа стануваат во моментот кога ќе се најавите на својот Ај-Ес-Пи (од англиската кратенка ISP, Internet Service Provider). Од дома тоа го правите со помош на модем. На училиште, на универзитет или во некоја компанија, компјутерот може да биде дел од етернет (Ethernet) мрежата, која може да биде локална (LAN, Local Area Network) или поширока (WAN, Wide Area Network). За да се поврзат компјутерите во локалната мрежа може да се користи уред наречен хаб (hub). Но, колку повеќе компјутери се врзуваат во оваа локална мрежа, толку се намалува проодноста на мрежата. Затоа во последно време за поголеми мрежи наместо хабови се користат свичови (од англиски switch, што значи прекинувач или преклопник). Разликата помеѓу хабовите и свичовите е иста како и помеѓу сообраќајните раскрсници регулирани со семафори и големите клучки. Кај

првите, на дел од учесниците во сообраќајот светлото на семафорот им е зелено и тие возат, доека на другите светлото на семафорот им е црвено и тие чекаат. Кај клучките сите учесници во сообраќајот може да возат со полна брзина без да си пречат едни на други. Во една компанија може да има повеќе локални мрежи во кои може да има комбинирано и хабови и свичови.



Сл. 6.

Поврзувањето на компјутерите може да се изведе на неколку различни начини. Најчест којшто денеска е во употреба е таканаречениот стар-бас (star-bus) начин (сл. 6). Тоа значи дека една група од компјутери е поврзана во вид на звезда преку хаб или свич. На тој начин е формирана една подмрежа. Повеќе такви подмрежи се поврзуваат заедно на дополнителна машина, таканаречена *'рбет'*. Вака поврзани компјутерите го формираат стар-басот. Тие може да комуницираат помеѓу себе, но сè уште не може да отидат на Интернет. За таа цел сите овие локални мрежи треба да бидат поврзани на компјутер, таканаречен *рутер* (router). Рутерите овозможуваат влез во Интернет и врска помеѓу поединечните големи мрежи. Тие го сочинуваат *'рбетот'* на Интернет.

Секоја машина којашто е поврзана во мрежа, независно дали станува збор за компју-

тер или мрежен печатач, има своја адреса наречена Ај-Пи адреса (IP address, од англиски **I**nternet **P**rotocol **A**ddress). Протокол е претходно дефиниран начин на комуникација којшто некој сака да го користи на Интернет. На пример, IP адресата на компјутерот на којшто е пишуван овој текст е 194.149.146.180. Овие четири броја, одделени со точка помеѓу, се наречени *октети*. Секој од тие броеви може да има вредност помеѓу 0 и 255, значи вкупно $2^8=256$ различни вредности. Ако се комбинираат сите четири октети, можни се $(2^8)^4=2^{32}=4\,294\,967\,296$ различни вредности.

Можеби не е тешко да се запомнат ваквите адреси ако ги нема многу, како што било во почетокот на постоењето на Интернет. Но, луѓето обично сакаат да пишуваат зборови кои ќе им бидат поразбирливи и ќе им кажуваат нешто. Затоа во 1983 година луѓето од Универзитетот во Висконсин измислија Ди-Ен-Ес систем и сервер (ДНС, од англискиот **D**omain **N**ame **S**ystem/**S**erver). Овој сервер ги преведува IP адресите во зборови кои се погодни за помнење и обратно, од зборови во IP адреси. Така, наместо да помните бројки, адресите можете да ги помните по некоја логика, па да одите на компјутер чија адреса е:

<http://www.pmf.ukim.edu.mk/>

а тоа значи дека ќе одите на компјутерот кој што се наоѓа на pmf (Природно-математички факултет) којшто е дел од ukim (Универзитет "Св. Кирил и Методиј") и спаѓа во edu (едукативниот систем) на mk (Македонија). Едноставно и ќе може да ја видите веб-страницата на тој факултет.

На почетокот од адресата напишавме http, со што го одбравме протоколот којшто ќе го користиме. Протоколот **http** доаѓа од англискиот збор **hypertext transfer protocol**, што значи протокол за пренос на хипертекст. Друг можен протокол е **ftp**, што значи **file transfer protocol**, што значи дека тоа е протокол кој овозможува да се пренесуваат фајлови.

Мобилната телефонија и Интернетот во последно време се здружени, така што сега е на

располагање мобилен безжичен Интернет, познат под името WAP (WAP, Wireless Application Protocol). WAP е дизајниран да работи на кој било безжичен сервис, користејќи стандарди како:

- SMS (Short Message Service);
- CSD (High Speed Circuit-Switched Data);
- GPRS (General Packet Radio Service);
- USSD (Unstructured Supplementary Services Data).

Тоа е во кратки црти за користење Интернет можности преку телефон. Но постои и другата можност, користење телефон преку Интернет, таканаречена IP телефонија. Кога користите телефон класично, тогаш линијата помеѓу двата телефона е отворена цело време се додека не се спуштат слушалките. Значи дека линијата е цело време зафатена со тој еден повик. Кај IP телефонијата, компјутерот ја дели информацијата што треба да ја пренесе на мали делови, наречени пакети. Тој ја испраќа информацијата дел по дел. Во времето помеѓу две испраќања на две пакетчиња истата линија може да ја користат и други корисници. Се разбира, тие времиња помеѓу две испраќања се многу мали и не пречат во разговорот.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Што се базни станици?
2. Кои системи на мобилна телефонија постојат и во што се разликуваат?
3. Кои се фреквентните подрачја во кои емитураат телевизиските станици?
4. Како се викаат уредите кои овозможуваат компјутерите да се поврзат во мрежа?
5. Кој е најчестиот начин на поврзување на компјутерите во мрежа?
6. Што е рутер и која е неговата улога?
7. Што е ИП адреса и од што е составена?
8. Што се http и ftp?

6.3. КОМПАКТ ДИСК - ПЛЕЕР

Компакт диск

Компакт дисковите (Це-ДЕ, CD) и дигиталните видеодискови (Ди Ви-Ди, DVD) се насекаде околу нас. Независно дали се користат за музика, видео, податоци или софтвер, тие станаа стандарден медиум за дистрибуирање и пренос на големи количества податоци и информации.

Во претходната лекција се запознавме со семплирање. Колкаво количество информации може да соберат ЦД-ата. Тие работат со 44100 семпла во секунда за секој канал. Ако тоа се помножи со бројот на канали, два, и со бројот на бајти потребни за секој семпл, два, тогаш за 74 минути музика потребни се 783 216 000 бајта, или:

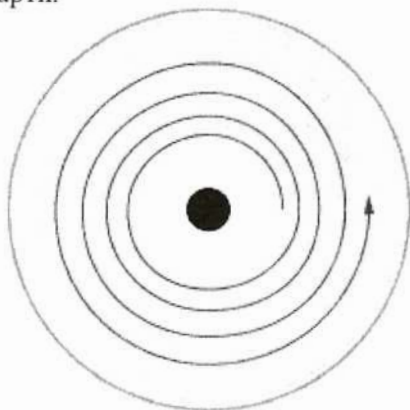
$$(44100 \text{ семпла/канал} * \text{секунда}) * 2 \text{ канала} * (2 \text{ бајта/семпл}) * 74 \text{ минути} * (60 \text{ секунди/минута}) = 783\,216\,000 \text{ бајта}$$

CD -то е цврсто парче од поликарбонатна пластика во вид на кружна плоча со дебелина од околу 1,2 mm и радиус 12 cm. Во текот на изработката во пластиката се втиснуваат мали испакнатини кои се наредени во вид на долга спирална лента. После тоа се нанесува тенок алуминиумски слој кој ја прекрива спиралната лента. Со спреирање врз алуминиумот се нанесува тенок акрилен слој за да го заштити алуминиумот. Конечно, одозгора се отпечатува стикетата. Пресек на изгледот на CD е даден на сл. 7.



Сл. 7.

Спиралната лента на дискот почнува од внатрешноста и се шири кон периферијата (сл.8). Ваквата конструкција дозволува дискот да има помал радиус од 12 cm. Така, денеска се прават и помали дискови, па дури и дискови во вид на визит карти.



Сл. 8.

Ширината на лентата е $0,5 \mu\text{m}$, а растојанието помеѓу две соседни линии во лентата е $1,6 \mu\text{m}$. Должината на испакнатните кои ја сочинуваат оваа спирална лента е најмалку $0,83 \mu\text{m}$, а нивната височина или дебелина е 125 nm (сл. 9). Вкупната должина на спиралната лента е околу 5 km.



Сл. 9.

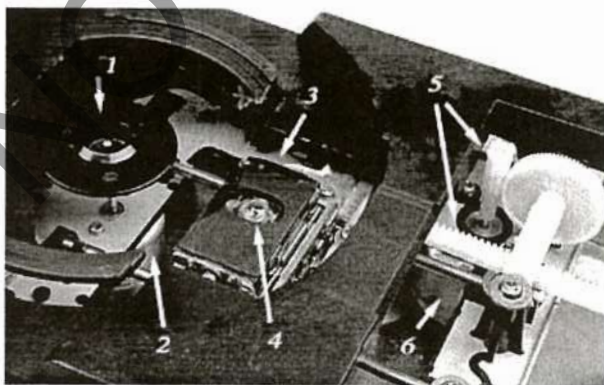
Често за овие мали испакнатини можете да слушнете дека се вдлабнатини. Погледнати од страна на алуминиумската фолија, тие се вдлабнатини, но од страната од која ласерот ги чита тие се испакнатини. На местата на кои нема испакнатини, светлината се рефлектира и уредот за читање овој сигнал го регистрира како 1. На местата каде што има испакнатина, светлината

не се рефлектира и уредот го регистрира ова како 0. Така информацијата е преведена во бинарен код, на којшто комуницираат компјутерите.

ЦД плеер

CD плеерот има задача да ги најде податоците на дискот и да ги прочита. Со оглед на широчината на спиралната лента и големината на испакнатините, механичкиот уред кој се наоѓа во CD плеерот мора да биде крајно прецизен и фин. Овој ред се состои од три основни елементи (сл.10):

- мотор на носачот на дискот;
- глава за читање со ласер и леќи;
- механизам за следење на спиралната лента (tracking system).



Сл. 10. 1: носач на дискот, 2: мотор на носачот на дискот, 3: глава за читање со ласер, 4: леќи на ласерот за фокусирање, 5: механизам за следење на спиралната лента, 6: мотор на механизмот за следење на спиралната лента

Како се читаат податоците од дискот?

Моторот на носачот може да го врти дискот со брзина од 200 до 500 завртувања во секунда. Оваа брзина многу прецизно се контролира, затоа што од неа зависи точноста на читање на податоците. Кога ласерот се наоѓа поблиску до центарот на дискот, тој ротира со поголема брзина. Како се движи кон периферијата, така брзината на ротацијата се намалува. Радиусот на кривината на спиралната

лента поблиску до центарот е помал од оној на периферијата на дискот. Тоа значи дека еден круг од лентата поблиску до центарот ќе има помалку податоци од оној поблиску до периферијата на дискот. Затоа, ако не се намали брзината на ротација на дискот, тогаш брзината со која ќе доаѓаат податоците ќе се зголемува и уредот нема да може да ги прочита.

Втор битен момент во читањето на дискот е светлината од ласерот да се фокусира на лентата со испакнатини. Ласерскиот сноп поминува низ поликарбонатниот слој, се рефлектира од алуминиумската фолија и паѓа на оптоелектронскиот уред. Интензитетот на светлината се менува во зависност од испакнатините на кои снопот наидува. Опто-електронскиот уред ги детектира овие промени и понатаму ги преведува на јазик кој е разбирлив за дадениот уред.

Третиот момент во читањето на дискот е најтешката работа што треба овој уред да ја направи, а тоа е ласерскиот сноп да се држи во центарот на спиралната лента. За тоа е задолжен механизмот за следење на лентата.

Така, додека ја слушате музиката од дискот, моторот на носачот го врти дискот, читачот од главата ја регистрира рефлектираната светлина од ласерот, моторот за следење го повлекува читачот кон периферијата на дискот "мачејќи се" да ја следи лентата. За цело време читачот му испраќа информација на моторот на носачот за брзината со која му стигнуваат податоците. Штом "почувствува" дека таа брзина се зголемува му дава сигнал на моторот на носачот и тој ја намалува брзината. Едноставно, нели?

Конструкторите на овој уред се потрудиле да го направат така да не биде толку едноставно, а тоа значи да биде и посигурно читањето на податоците. Кои се можните проблеми?

1. На лентата не смее да има продолжени празнини без испакнатини. За да се реши овој проблем податоците се кодирани со помош на И-Еф-Ем (EFM, од англискиот Eight-Fourteen Modulation), односно 8-битните бајти се конвертираат во 14-битни.
2. За да се овозможи лесно поместување од

песна на песна и читање на податоците за секоја песна поединечно, се користи таканаречено субкодирање на податоците, коешто ги кодира релативната и апсолутната позиција на ласерскиот читач.

3. Бидејќи постои можност ласерот да не прочита некоја испакнатина од дискот, воведен е уред за корегирање на грешките (error correcting codes).
4. Можно е цел пакет од информации да не биде воопшто прочитан, затоа што површината на дискот е оштетена. За да се избегне ова, читачот ги чита податоците од едно завртување на дискот, ги меморира и потоа ги чита податоците од следното завртување, па ги спојува.

Постојат повеќе формати во кои може да се запише податокот на компакт дисковите. Некои од нив се во широка употреба, а некои се веќе одамна заборавени. Два формати со кои најчесто се сретнуваме се Це-Де-Де-А (CD-DA, Compact Disc-Digital Audio) за запишување звучни информации и Це-Де-РОМ (CD-ROM, Compact Disc-Read Only Memory) за запишување компјутерски податоци.

ЦД пишувачи

ЦД пишувачите не се разликуваат многу од ЦД читачите. Се разбира ЦД пишувачот не мора да има уред за читање на информациите од дискот. Но, денеска секој современ пишувач е снабден и со читач. Друга разлика е што ласерот којшто треба да ја испише информацијата е помокен од оној којшто е вграден во CD читачот.

За да може да испишете, односно снимите податоци на еден компакт диск, потребен ви е диск којшто малку се разликува од оној со којшто се запознаваме претходно. Тоа е CD-R (Compact Disc-Recordable). Неговиот пресек е даден на сл. 11. На десната половина, на која е претставен изгледот на неиспишан диск, може да се забележи дека нема акрилен слој, а под алуминиумскиот слој има слој од фотоосетлива боја. Уште поважно нема испакнатини. Фото-

осетливата боја е потполно транспарентна за светлината. Светлината поминува низ неа и се рефлектира од алуминиумскиот слој. Но кога со помош на ласерска светлина ќе се изгори дел од бојата, таа станува нетранспарентна. Од тоа место не се рефлектира светлина и се однесува како испакнатина (десната страна на сл. 11).



Сл. 11.

Вториот вид компакт диск на којшто може да се запишуваат податоци е CD-RW (Compact Disc-ReWritable), односно компакт диск на којшто податоците може да се пишуваат, бришат и повторно пишуваат. Неговата конструкција е различна од онаа на претходните два типа компакт дискови (сл. 12)



Сл. 12.

Под етикетата и алуминиумскиот слој, коишто се стандардни за сите дискови, нанесен е сендвич од два диелектрични слоја и еден слој од материјал чија фаза може да се менува. Овој материјал е соединение направено од сребро, антимон, телур и индиум. Кога тој е во кристална фаза, светлината може да поминува низ него и да се рефлектира од алуминиумскиот слој. При пишување на податоците, ласерот за пишување го загрева потребното место до температура од околу 600°C, при што го топи

материјалот и тој станува аморфен. На тие места материјалот веќе не е транспарентен и се однесува како испакнатина.

За да се избрише информацијата од компакт дискот, уредот е опремен со дополнителен ласер, чија моќност не е толку голема како на оној за пишување, но е поголема од оној за читање. Така, во процесот на бришење на податоците тој успева да го загрее материјалот до околу 200°C, на која материјалот повторно кристализира.

CD-RW дисковите рефлектираат помалку светлина од обичните компакт дискови. Затоа постарите CD читачи не можат да ги читаат овие дискови. Некои од новите CD читачи и плеери, вклучувајќи ги и сите CD-RW пишувачи можат да ја прилагодуваат моќноста на ласерите за работа со различни типови на компакт дискови.

ДВД

Кога зборуваме за компакт дисковите, не можеме да ги заборавиме и ДВД -ата (Digital Video Disc). Станува збор за дискови кои се малку поинаку изградени од компакт дисковите. Како и кај претходните и кај ДВД носачот е направен од поликарбонатна пластика, на која се нанесени испакнатини наредени во вид на долга спирална лента. Над нив доаѓа слој од алуминиум. Некој ќе се запраша, па каква е разликата помеѓу ЦД и ДВД?

Ширината на лентата кај DVD е 0,32 μm , растојанието помеѓу две соседни линии во лентата е само 0,74 μm , должината на една испакнатина е само 0,4 μm , а нејзината височина е само 0,12 μm . Споредбата на овие димензии помеѓу ЦД и ДВД е дадена во табела 1.

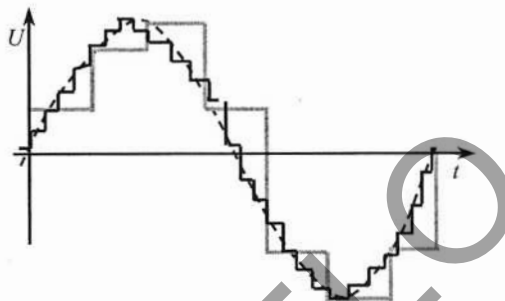
Табела 1.

	CD (μm)	DVD (μm)
Широчина на лента	0,50	0,32
Растојание помеѓу две линии	1,6	0,74
Должина на испакнатина	>0,83	>0,4
Височина на испакнатината	0,125	0,12

Ако ги споредиме со оние кај компакт дискот ќе забележиме дека овде големините се многу помали. Тоа значи дека густината на податоци овде е многу поголема, што значи дека на ДВД може многу повеќе податоци да се сместат. Така на ДВД може да се сместат 4,8 GB податоци, што е за околу шест и пол пати повеќе од она кај компакт дискот. Волкав мемориски капацитет дозволува на дискот да се снимат филм во траење од два часа. Втора голема предноста на ДВД во однос на ЦД е што може да се нанесат два слоја со податоци. Во тој случај, помеѓу двата слоја се нанесува полупропусен слој од злато, којшто може да служи за рефлектирање, но низ него може и да поминува светлина, во зависност од тоа од кој слој треба ласерот да чита податоци. На тој начин капацитетот на дискот се зголемува на 7,95 GB. Во тој случај на дискот може да се смести видео снимка со времетраење од четири часа. Капацитетот на дискот не се дуплира со додавање на вториот слој, затоа што должината на испакнатините во тој случај е поголема ($> 0,44 \mu\text{m}$). Ова овозможува да се избегне можноста од мешање на податоците од двата слоја.

Трета предност е што на ДВДиските може да се нанесуваат слоеви од двете страни на дискот. Во тој случај капацитетот на дискот е 8,75 GB. Кај овој диск видеоснимката трае до четири и пол часа. Ако на двете страни од дискот се нанесат по два слоја капацитетот на дискот е 15,9 GB. На овој диск може да снимите филм со времетраење од над осум часа. Овие времетраења важат ако снимката е во MPEG-2 формат.

Кога зборуваме за ДВД видео дискови навикнати сме, главно, да зборуваме за видео снимки. Но, не е далеку моментот кога наше секојдневие ќе станат и ДВД аудиодискови. Повеќето ДВД плеери имаат 96 kHz/24 битни дигитално-аналогни конвертори. Тоа е доволно за видеоснимки. Но, за аудиодискови е потребен 192 kHz/24 битен дигитално-аналоген конвертор. Тоа значи дека аудиодиските се читаат со поголема брзина. Како изгледа тоа и како влијае тоа на квалитетот на сигналот?



Сл. 13. Оригинален аудиосигнал (испрекинатата линија), дигитализиран аудиосигнал за компакт диск (сива) и дигитализиран аудиосигнал за ДВД (црна линија).

Оригиналниот сигнал на сл. 13 е претставен со испрекинатата линија. Кога тој сигнал е обработен, односно дигитализиран за ЦД (како што беше објаснето во Аналогно-дигитална конверзија), тогаш излезниот сигнал изгледа отприлика како сивата крива на сл. 13. Претходно видовме дека дигитализацијата за ЦД се врши со брзина од 44100 семпла во секунда, односно 44,1 kHz. Се гледа дека тие две криви се разликуваат, што значи дека дел од информациите се изгубени. Кога истиот тој сигнал е дигитализиран за ДВД, тогаш тој се дигитализира со брзина од 192 000 семпла во секунда, односно со 192 kHz. Сигналот во тој случај изгледа како црната крива на сл. 13. Се гледа дека овој сигнал е многу поблизок до оригиналниот и верноста при репродукцијата е поголема.

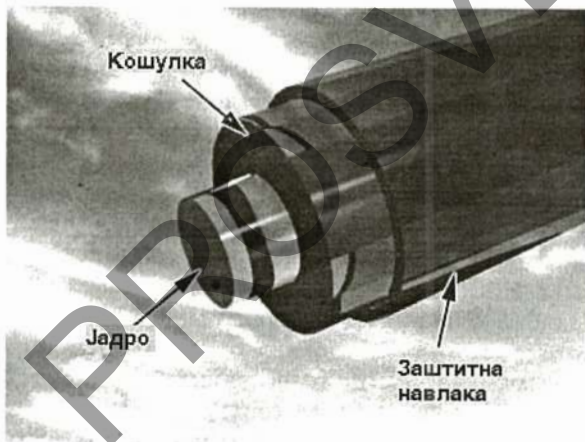
? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Како е изграден компакт дискот?
2. Кои се главните делови на ЦД плеерот и како ги чита податоците од компакт дискот?
4. Во што се разликуваат ЦД пишувачите од CD плеерите и како работат?
5. Која е разликата помеѓу CD-R и CD-RW? Како се изградени овие компакт дискови?
6. Зошто ДВД собира повеќе податоци од ЦД?
7. Зошто не се дуплира капацитетот на ДВД со додавање на втор слој?

6.4. ФИБЕР ОПТИЧКИ КОМУНИКАЦИИ

Секогаш кога се зборува за пренос на информации се споменува терминот оптички кабли. Оптичките кабли во себе не содржат метални жици, како што обично сме навикнати да гледаме во стандардните кабли. На нивно место, во оптичките кабли има стаклени влакна. Постојат повеќе причини за замена на металните кабли со оптички. Првата причина е што тие можат да пренесат повеќе информации од металните. Втората причина е што овие кабли се многу помалку подложни на надворешни влијанија од други електромагнетни полиња.

Структурата на стаклените влакна е дадена на сл. 14. Во оската на влакното е *јадрото* направено од стакло. Околу јадрото е *кошулка* која е, исто така, од стакло, но направена на посебен начин. Конечно, сето тоа е ставено во пластична заштитна навлака. Во оптичките кабли има стотици и илјадници вакви влакна.



Сл. 14. Структура на оптичко влакно

Постојат два типа на влакна:

- влакна што работат во еден мод (single-mode);
- влакна што работат во повеќе модови (multi-mode).

Првите имаат јадро со мал дијаметар од околу 9 μm . Тие пренесуваат информации со помош на инфрацрвена светлина со бранови должини помеѓу 1300 и 1550 nm. Вторите имаат поголеми јадра, со дијаметар од околу 62,5 μm . Тие пренесуваат информации со помош на инфрацрвена светлина со бранови должини помеѓу 850 и 1300 nm. Некои влакна се прават и од специјални пластични материјали. Нивното јадро е многу големо, со дијаметар од околу 1 mm. Низ нив се простира видлива црвена светлина со бранова должина од 650 nm.

Значи, за да имаме пренос на информација на овој начин, потребен е извор на сигналите, оптичко влакно, оптички регенератор и оптички приемник.

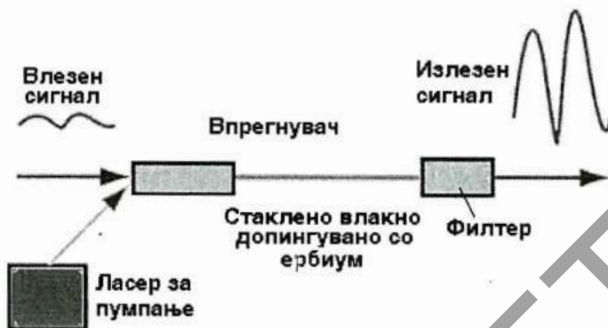
Како работат оптичките влакна?

Оптичките влакна ја користат појавата на тотална рефракција. Светлината се простира праволиниски. Лесно е да се осветли едно место, ако нема препрека помеѓу изворот на светлината и тоа место. Но, ако постои препрека, тогаш светлината не може да ја заобиколи препреката. Оптичките влакна можат да ѝ помогнат на светлината да го направи тоа. Патувајќи низ јадрото на влакното, светлинскиот зрак доаѓа до кошулката, тотално се рефлектира од неа и повторно се враќа во јадрото (сл. 15).



Сл. 15. Простирање на светлина низ оптичко влакно со помош на тотална рефракција

Така, светлинскиот зрак не може да излезе од влакното. Ништо не е идеално, па ни ова. Простирајќи се низ влакното, интензитетот на светлинскиот зрак опаѓа. Причина за тоа се, главно, нечистотиите во стаклото. За различни бранови должини ослабувањето е различно, но се движи околу 50% на секој километар. Кај некои специјални влакна опаѓањето на интензитетот на светлинскиот зрак со бранова должина од 1550 nm е помало од 10% на километар. Поради ова, по должината на оптичкиот кабел на повеќе места се поставуваат *оптички регенератори* (сл. 16).

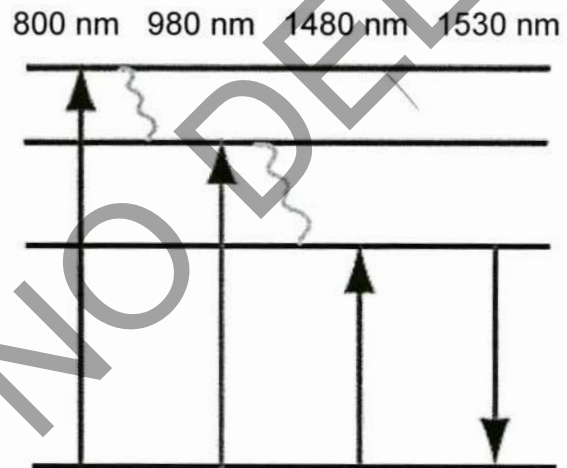


Сл. 16. Оптички регенератор

Оптички регенератор

Регенераторот има задача да го засилува ослабениот сигнал. Во почетокот, регенераторите го претворале светлинскиот сигнал во електричен, го чистеле од шума, го засилувале и повторно во вид на светлина го испраќале понатаму. Но, ваквите регенератори воведувале изобличувања во сигналот и трошеле многу електрична енергија. Во 1987 година за прв пат е конструиран таканаречен фиберов засилувач. Типичниот фиберов засилувач работи на подрачјето од 1550 nm и се состои од оптички влакна направени од стакло кое е допигнувано со ербиум и ласер за "пумпање", којшто емитува светлина со бранова должина од 980 nm. Ослабениот сигнал влегува во впрегнувачот, каде што се комбинира со сигналот од ласерот за

пумпање. Тој го побудува допигнуваното стакло да емитува. Таа стимулирана емисија дополнително стимулира нова емисија, па така бројот на емитирани фотони расте многу бргу по експоненцијален закон. На тој начин сигналот може да се засили и до 10 000 пати и на излез да се добие моќност и до 100 mW.



Сл. 17.

Зошто стаклото се допигнува токму со ербиум? Ербиумот може да се побуди со светлини со бранови должини од 800 nm и 980 nm (сл.17). Ова е важно затоа што стаклените влакна може да пренесуваат светлина со овие бранови должини без големи губитоци. Уште еден битен момент е што овие бранови должини многу се разликуваат од брановата должина на сигналот (1550 nm) што го олеснува раздвојувањето на носечкиот сигнал и сигналот за пумпање. Кога ербиумот ќе се побуди со светлина со бранови должини од 800 nm или 980 nm, електроните преоѓаат во повисоко енергетско ниво. Оттаму, тие преоѓаат во пониско енергетско ниво без да емитуваат светлина. Електроните остануваат во тоа ниво релативно долго време, ред големина 10 ms. Ова е многу важно, затоа што квантната ефикасност на уредот зависи од тоа колку долго може атомите да останат

возбудени, односно колку долго електроните може да останат во повисоко енергетско ниво. Ако остануваат пократко, тогаш е потребна дополнителна енергија која ќе ги држи во тоа ниво. Ербиумот може да се побуди и со светлина со бранова должина од 1480 nm, но тоа не е погодно, затоа што таа бранова должина не се разликува многу од брановата должина на светлината која го носи сигналот. Тоа од своја страна може да ја намали ефикасноста на уредот и да го зголеми шумот во сигналот.

Втора добра карактеристика на ербиумот е што може лесно да се раствори во стаклото. Со додавање на ко-допанти, како што се Al_2O_3 , $\text{GeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ или P_2O_5 , растворливоста на ербиумот може да се зголеми и да се подобрат некои карактеристики на засилувачот. На пример, ако се додаде $\text{GeO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ може да се зголеми двојно времето на останување во возбуждена состојба, што двојно ја зголемува и квантната ефикасност на засилувачот.

Се разбира, ништо не е идеално, па ни овие засилувачи. Брановата должина на излезниот сигнал доста варира, па затоа се потребни дополнителни пасивни филтри. На крајот, вака засилениот сигнал го прима оптичкиот приемник, кој може да биде фотокелија или фотодиода. Овие засилувачи се користат во кабловската телевизија и телефонијата.

Кои се предностите на фибер оптичката комуникација?

- Цената на оптичкиот кабел може да биде пониска од онаа на бакарната жица.

- Оптичките влакна може да бидат потенци од жицата.

- Тоа што се потенци овозможува повеќе влакна да се стават во еден кабел. Од своја страна, ова овозможува повеќе информации, односно телефонски линии и радио и телевизиски канали да поминуваат низ еден кабел.

- Ослабувањето на сигналот е помало кај оптичките кабли од оној кај бакарните жици, што од своја страна ги намалува трошоците за засилување на сигналот.

- Светлинските сигнали, за разлика од електричните, не можат да си влијаат едни на други.

- Оптичките влакна се идеални за пренос на дигитални сигнали.

- Бидејќи низ влакната не тече електрична струја, нема опасност од загревање и запалување.

- Оптичкото влакно е полесно од бакарната жица.

- Флексибилноста на оптичките влакна овозможува нивна употреба и во други области, како што е медицината (во бронхоскопија, ендоскопија, лапароскопија...)

Посебно ќе ја разгледаме предноста во квалитетот на сигналот. Зошто квалитетот на сигналот е многу поголем од кој било друг начин на пренос на информации. Светлинскиот бран во овој случај е носечки бран на кој е втиснат сигналот што треба да се пренесе или, со други зборови, светлинскиот сигнал е модулиран. Кога зборуваме за модулирање на електромагнетни бранови (радио и телевизија) видовме дека е потребен бран со поголема фреквенција за да се пренесат повеќе податоци. Така, за да се пренесе звук со добар квалитет фреквенцијата на електромагнетните бранови треба да биде околу 100 MHz (FM браново подрачје). Но, за да се пренесе квалитетна слика, електромагнетните бранови може да имаат фреквенција и до 890 MHz (телевизија). Ако се потсетиме дека фреквенцијата на брановата должина има ред големина од 100 THz (терахерци), што е за милион пати поголема од фреквенцијата на радио и телевизиските бранови, тогаш е јасно зошто сигналот пренесен со светлина е многу поквалитетен од сите останати.

Како се прават оптичките влакна

Најпрво се подготвува материјалот од којшто ќе се влечат влакната. Тој материјал се добива од мешавина на SiCl_4 , GeCl_4 , POCl_3 и BBr_3 . Концентрацијата на секој од овие супстанции точно се контролира, затоа што од тоа зависи индексот на прекршување, коефициентот на ширење, точката на топење и другите важни карактеристики на материјалот. Оваа смеса се носи во една кварцна цевка во која се впушта

кислород и се загрева на висока температура. Притоа се формираат двете главни соединенија, SiO_2 и GeO_2 . Откако ќе се добие масивното парче стаклен материјал од кој ќе се прават оптичките влакна, прво се тестираат физичките карактеристики, ако задоволуваат се оди на влечење на влакната.



Сл. 18. Најрава за влечење оптички влакна

Парчето стакло се закачува на еден држач да виси, а долниот дел се загрева во графитна печка на температура помеѓу 1900°C и 2000°C . Стопениот дел од стаклото под дејство на гравитацијата почнува да се цеди надолу и се формира влакно. Најдолу на уредот за влечење се наоѓа мотор кој го влече ова влакно. Брзината со која тоа тој го прави е контролирана од ласерскиот микрометар. Ако дебелината на влакното е поголема од онаа која што треба да биде, микрометарот го регистрира тоа и му

дава наредба на моторот да влече посилно. На својот пат влакното поминува низ садовите во кои се нанесува кошулката и низ две ултравиолетови печки кои вршат корекција на влакната. На крајот, на калемот од моторот може да има над 2 km оптичко долго влакно.

Така изработеното оптичко влакно повторно се тестира, и тоа: неговата еластичност, индексот на прекршување на светлината, геометријата на влакното, коефициентот на апсорпција и негова зависност од температурата, колку информации може да пренесува, хроматската дисперзија, температурното подрачје во кое може да работи, способноста да работи под вода, што е многу важно за каблите кои ќе се спуштат под океаните и морињата.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Каква е структурата на оптичкото влакно?
2. Кое браново подрачје од светлината го користат оптичките влакна?
3. Која физичка појава ја користат оптичките влакна за да може светлината да се простира "криволиниски"?
4. Што е оптички регенератор и зошто служи?
5. На кој принцип работи оптичкиот регенератор?
6. Зошто е погоден ербиумот за допингување на стакло за оптички регенератори?
7. Дали е погодна светлина со бранова должина од 1480 nm за пумпање на ласерот? Зошто?
8. Зошто употребата на оптичките влакна има предност над бакарните жици?
9. Кои се двете битни соединенија кои се употребуваат при изработка на оптичките влакна?

6.5. ЗАСИЛУВАЧИ

Кога ќе се спомне засилувач, најчесто се мисли на делот кој се наоѓа кај хај-фај уредите и кој е задолжен за најголемата галама. Но, забораваме дека засилувачи имаат и радијата, телевизорите, репетиторите и др. Исто така, обично под засилувач мислиме на нешто што засилува звук, односно сигнал со ниска фреквенција. Па така, според фреквенцијата, засилувачите може да ги делиме на:

- нискофреквентни;
- високофреквентни;
- засилувачи на постојан напон.

Според тоа што засилуваат, тие може да се поделат на засилувачи на:

- струја;
- напон;
- моќност.

Секој засилувач, во принцип, може да се изведе со: електронски ламби, транзистори, диоди и друг каков било активен елемент.

Постојат повеќе величини што го опишуваат засилувачот, но во моментот ќе се запознаеме со три од нив. Тоа се **влезна импеданција**, **излезна импеданција** и **коэффициент на засилување**. Степенот на засилување се пресметува како однос од излезната и влезната величина што се засилува. Значи, ако станува збор за напонски засилувач, коэффициентот на засилување, A , ќе биде однос од излезниот и влезниот напон:

$$A = \frac{V_{iz}}{V_{vl}} \quad (1)$$

Често засилувањето што го дава само еден елемент е недоволно, па затоа се употребуваат повеќе елементи споени во каскада. Секој од елементите претставува засебен засилувач и во случајот се вика засилувачки степен. При спојување на степените во каскада, излезот од првиот степен е споен на влезот од вториот, излезот од вториот со влезот од третиот итн. Во случај кога степените се напонски засилувачи, тогаш целата каскада ќе биде напонски засилувач. Ако во

засилувачот имаме N степени, коэффициентот на засилување кај ваков засилувач ќе биде однос од излезниот напон на N -тиот степен и влезниот напон на првиот степен:

$$A = \frac{V_{iz}^N}{V_{vl}^I} \quad (2)$$

Коэффициентот на засилување на кој било степен во каскадата може да се пресмета според равенката (1). Ако се земе предвид дека излезниот напон на k -тиот степен е влезен за $k+1$ и ако се земе предвид равенката (2), тогаш се добива дека коэффициентот на засилување на каскадата е производ од поединечните коефициенти на засилување:

$$A = A_1 \cdot A_2 \cdots A_k \cdots A_N = \prod_{k=1}^N A_k \quad (3)$$

Оваа анализа важи ако засилувачот е направен од електронски ламби. Ако тој е направен од транзистори, анализата е прилично комплицирана, затоа што при поврзување во каскада отпорите се менуваат во голема мерка. Како втора причина се јавува големото повратно дејство на колекторската врз базната струја. Поради тоа, секоја промена во колекторското коло предизвикува промена на влезниот отпор. Затоа во овој случај нема смисла да се зборува за засилување на одделен степен. Ситуацијата се олеснува ако транзисторскиот засилувач се сфати како струен засилувач. При тоа, излезната струја од првиот степен е влезна струја на вториот степен, излезната од вториот како влезна за третиот и тн. Коэффициентот на струјното засилување на k -тиот степен ќе биде:

$$A_{i,k} = \frac{I_{iz,k}}{I_{vl,k}} \quad (4)$$

Слично како и кај првата анализа и во овој случај за коэффициентот на струјното засилување на целата каскада се добива:

$$A_i = A_{i,1} \cdot A_{i,2} \cdots A_{i,k} \cdots A_{i,N} = \prod_{k=1}^N A_{i,k} \quad (5)$$

Коэффициентот на напонско засилување ќе се добие од изразот:

$$A_V = \frac{A_i R_L}{R_{vl}} \quad (6)$$

каде што A_i е коефициент на струјно засилување, R_L е отпор на потрошувачот споен на излезот од засилувачот, а R_{vl} е влезната импеданција на првиот степен, мерена кога тој е споен во каскадата.

Коефициентот на засилување на моќноста е однос од излезната и влезната моќност:

$$A_P = \frac{P_{iz}}{P_{vl}} = \frac{A_i^2 R_L}{R_{vl}} \quad (7)$$

Во праксата често се користи логаритамска скала за засилувањето што го дава еден систем. Во неа засилувањето се изразува во децибели (dB), дефинирано со:

$$G(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_{iz}}{P_{vl}} \quad (8)$$

Во овој случај, засилувањето што го дава една каскада ќе биде сума од засилувањата на поединечните степени:

$$G(\text{dB}) = G_1(\text{dB}) + G_2(\text{dB}) + \dots + G_k(\text{dB}) + \dots + G_N(\text{dB})$$

$$G(\text{dB}) = \sum_{k=1}^N G_k(\text{dB}) \quad (9)$$

Засилувач со повратна врска

Во случај кога излезниот напон на засилувачот влијае на влезниот, велиме дека постои повратна врска. Наједноставен начин за реализирање на повратната врска е дел од излезниот напон да се врати на влезот. Блок шема на засилувач со повратна врска е даден на сл. 19.

Влезниот и излезниот напон се сумираат, давајќи нов влезен напон, кој понатаму се засилува. Ова може да се изведе со помош на потенциометар, отпори, кондензатори, трансформатор или каков било друг пасивен елемент. Делот од излезниот напон што се враќа на влезот се вика **сџејен на повратна врска** (β). Во најопшт случај, тој може да биде

комплексен број и да зависи од фреквенцијата. Кога тој е негативен реален број, вратениот напон ќе биде во спротивна фаза во однос на влезниот. Новиот влезен напон ќе биде разлика од влезниот (V_{vl}) и вратениот (βV_{iz}):

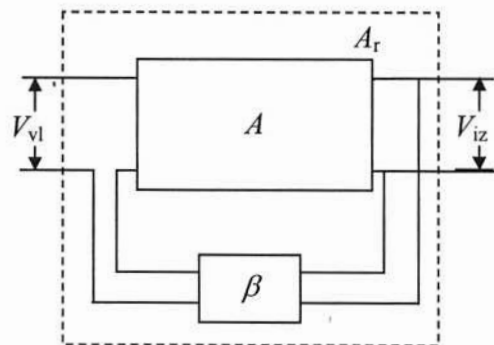
$$V_{vl}' = V_{vl} - \beta \cdot V_{iz} \quad (10)$$

Коефициентот на засилување A_r ќе биде однос од излезниот напон и новиот влезен напон:

$$A_r = \frac{V_{iz}}{V_{vl}'} \quad (11)$$

Ова се вика негативна повратна врска. Во овој случај коефициентот на засилување ќе биде помал од случајот кога немаме повратна врска.

Но, кога β е позитивен број, тогаш влезниот и вратениот напон се во фаза и тие се сумираат. Притоа новиот излезен сигнал ќе биде поголем и коефициентот на засилување ќе биде поголем. Ова се вика позитивна повратна врска.



Сл. 19.

Да го пресметаме коефициентот на засилување кај засилувач со повратна врска. Од равенката (11) за излезниот напон добиваме:

$$V_{iz} = A \cdot V_{vl}' \quad (12)$$

Вратениот напон ќе биде:

$$V_{vr} = \beta \cdot V_{iz} \quad (13)$$

Овој напон ќе се сумира со влезниот, давајќи го новиот влезен напон:

$$V_{vl}' = V_{vl} + \beta \cdot V_{iz} \quad (14)$$

Ако ја замениме равенката (14) во (12) за излезниот напон ќе добијеме:

$$V_{iz} = A(V_{vl} + \beta \cdot V_{iz}) \quad (15)$$

Од равенката (15) за излезниот напон при повратна врска добиваме:

$$V_{iz} = \frac{A}{1 - \beta \cdot A} V_{vl} \quad (16)$$

Ако оваа равенка ја споредиме со (11) за коефициентот на засилување со повратна врска добиваме:

$$A_r = \frac{A}{1 - \beta \cdot A} \quad (17)$$

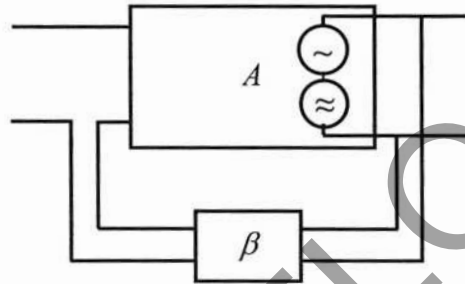
Од овде гледаме дека кога постои позитивна повратна врска (β е позитивно), коефициентот се наголемува и обратно, кога постои негативна повратна врска (β е негативно), тој се намалува. Именителот од равенката (17) може да биде комплексен број и да зависи од фреквенцијата:

$$F(\omega) = (1 - \beta \cdot A) \quad (18)$$

Тој се вика **функција на повратната врска**. Производот βA се вика кружно засилување на системот и претставува коефициент на засилување на засилувачот споен во каскада со елемент со повратна врска.

Некој ќе се запраша: па кога коефициентот на засилување е помал кај негативна повратна врска, тогаш зошто се применува? Тоа си има други позитивни карактеристики. За сметка на засилувањето се добива на намалување на хармониското изобличување, се зголемува стабилноста на засилувачот, се намалува брмчењето поради слабото филтрирање на напојувачкиот напон, се намалува излезната и се зголемува влезната импеданција.

Еквивалентната шема на еден реален засилувач може да се претстави со еден идеален засилувач (којшто не го изобличува засилениот сигнал), што е споен во серија со генератор на хармоници (сигнали кои ќе претставуваат изобличувања во крајниот засилен сигнал) (сл. 20).



Сл. 20.

За поедноставување ќе земеме дека генераторот го дава само вториот хармоник ($V_{2\omega}$). Со негативната повратна врска дел од излезниот сигнал се враќа на влезот во спротивна фаза. Реалниот засилувач како излезен напон ќе дава засилен влезен и на него додаден вториот хармоник, односно:

$$V_{iz} = A \cdot V_{vl} + V_{2\omega} \quad (19)$$

Дел од излезниот напон се враќа на влезот и се сумира со влезниот, при што се добива нов влезен напон:

$$V_{vl}' = V_{vl} - A \cdot \beta \cdot V_{vl} - \beta \cdot V_{2\omega} \quad (20)$$

Оттука се добива вистинскиот влезен напон:

$$V_{vl}' = \frac{V_{vl}}{1 + A \cdot \beta} - \frac{\beta \cdot V_{2\omega}}{1 + A \cdot \beta} \quad (21)$$

Од равенките (19) и (21) се добива излезниот напон при негативна повратна врска:

$$V_{iz} = \frac{A}{1 + A \cdot \beta} V_{vl} + \frac{V_{2\omega}}{1 + A \cdot \beta} \quad (22)$$

Од равенката (22) се гледа дека излезниот напон ќе го содржи влезниот напон засилен за коефициент A_r , но покрај него го има и вториот хармоник, чија амплитуда е намалена за фактор $\frac{1}{1 + A \cdot \beta}$. Ова покажува

дека за сметка на слабото засилување на главниот сигнал, се добива драстично намалување на хармониското изобличување. Ова што важи за вториот хармоник, важи и за третиот, четвртиот и за повисоките хармоници.

Претходно спомнавме дека засилувачот со негативна повратна врска е постабилен. Нестабилноста на еден засилувач се јавува поради промена на коефициентот на засилување, предизвикан поради некоја промена на некој од параметрите на засилувачките елементи. За да докажеме дека промената на коефициентот на засилување е најмала кај засилувачите со негативна повратна спрега, да ја диференцираме равенката (17):

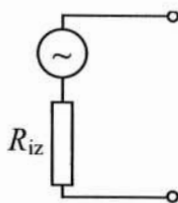
$$dA_r = \frac{dA(1 + \beta \cdot A) - \beta \cdot A \cdot dA}{(1 + \beta \cdot A)^2} = \frac{dA}{(1 + \beta \cdot A)^2}$$

Ако добиениот израз се помножи и подели со A , ќе се добие:

$$dA_r = \frac{A}{1 + \beta \cdot A} \cdot \frac{1}{1 + \beta \cdot A} \cdot \frac{dA}{A} \\ \frac{dA_r}{A_r} = \frac{1}{1 + \beta \cdot A} \cdot \frac{dA}{A} \quad (23)$$

Равенката (23) покажува дека релативната промена на коефициентот на засилување кај засилувачи со негативна повратна врска е намалена за фактор $\frac{1}{F(\omega)}$.

Покрај овие квалитети, негативната повратна врска придонесува за намалување на излезниот отпор, односно импеданцијата на засилувачот. Секој засилувач може да се претстави со еквивалентна шема во која се врзани еден генератор на електромоторна сила, сврзан во серија со отпорник со вредност еднаква на излезниот отпор на засилувачот (сл. 21).



Сл. 21

Со воспоставување на повратна врска, генераторот ќе даде напон еднаков на

$(A \cdot V_{vl} - A \cdot \beta \cdot V_{iz})$. Кога се мери излезниот отпор, на влезот на засилувачот не се носи сигнал ($V_{vl} = 0$), но затоа на излезот се носи сигнал (V_{iz}). Равенката на електричното коло на таа слика е:

$$V_{iz} + A \cdot \beta \cdot V_{iz} = R_{iz} \cdot I_{iz} \quad (24)$$

Новата вредност на излезниот отпор дефинирана со изразот:

$$R_{iz}' = \frac{V_{iz}}{I_{iz}}$$

ќе биде дадена со:

$$R_{iz}' = \frac{R_{iz}}{1 + A \cdot \beta} \quad (25)$$

Равенката (25) покажува дека излезниот отпор кај засилувачи со повратна спрега се намалува за фактор $\frac{1}{F(\omega)}$.

Но, затоа на излезот се носи сигнал.

? ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Според фреквенцијата на сигналот што го засилуваат какви засилувачи постојат?
2. Какви засилувачи постојат од гледна точка на тоа што засилуваат?
3. Кои се основните карактеристики што опишуваат еден засилувач?
4. Како се дефинира коефициентот на засилување?
5. Каква е врска помеѓу коефициентот на засилување на напонот и струјата на каскадата и поединечните степени?
6. Каква е врска помеѓу коефициентот на засилување на моќноста на каскадата и поединечните степени?
7. Како изгледа засилувач со повратна врска?
8. Што е степен на повратна врска?
9. Какви повратни врски постојат?
10. Што е функција на повратна врска?
11. Кои се предностите на засилувачите со негативна повратна врска?

ИНДЕКС

А

аерогели 176
аеросоли 205
аголно поместување 55
Ај-Ес-Пи 238
Ајнштајнови принципи на релативноста 21
Ајнштајновоз 26
активатори 115
алтернативни извори на енергија 229
аналоген сигнал 234
аналогно дигитална конверзија 236
античестици 131
антиатом 132
антикварк 135
апсолутна магнитуда на ѕвездите 153
апсолутно тврдо тело 54
апсорбирана доза 221
апсорпција на звукот – коефициент 217
астрономска единица 152
атомско јадро 125
атомско јадро 125
автокомполити 190

Б

бариони 130
барионски полнеж 133
базила станица 1237
бели цуџиња 149
биокомполити 191
биолуминисценција 113
биополимери 187
Боров магнетон на електронот 96
Боров радиус 95
бозони 103
бранова функција 93
брзина на светлината 15
бучава – индустриска 216
бучава – урбана 216
бучава 216

В

Ван дер Валсиви сили 121
вгнездени системи 235

вибрации 218
Вин Вилсам 77
Винов закон 209
Винова релација 76
високорадиоактивен отпад 222
водородна врска 124
вселена 138

Д

дендример 186
дигитализација 235
дисперзионни сили 132
дисперзни композитни материјали 190
дозиметри 226
дозиметриски детектор 227
дозволенни дози 222
ДВД 243

Г

Гајгер-Милеров бројач 227
галаксии елиптични 140
галаксии 138
галаксии неправилни 141
галаксии спирални 140
галактичко јато 141
галактичко суперјато 141
Галилеев принцип на релативноста 8
Галилееви трансформации 9
Гел Ман Мареј 136
геотермална енергија 229
главен квантен број 95
Големата експлозија 161
Големиот Атрактор 141
гравитационо црвено – поместување

Е

едновременост на настаните 26
ефект на стаклена бавча 209
егзосфера
екологија 200
експеримент на Лебедев 80
експозиција 221
еквивалентна доза 221
еквивалентност на масата и енергијата 43
електролуминисценција 113

електронска конфигурација 101
 електронски облак 94
 електронски слој 100
 елементарни честисици 127
 елементарни честисици 127
 енергија на дисоцијација 120
 енергија на нуклеарна фузија 230
 еолска енергија 229
 етер 14
 еволуцијна теорија за Вселената

Ж,З

животна средина 200
 закривување на просторот 51
 засилувачи 249

И

инерцијален систеџ 7
 интелигентни материјали 192
 Интернет 238
 интерстеларен простор 159
 интерстелатен гас 160
 ИП адреса 239
 извори на јонизација - природни 219
 извори на јонизација - вештачки 219
 извори на јонизација 219

Ј

јачина на звукот 216
 јаглеродно-азотен циклус 156
 јоносфера 204
 јонска хемиска брска 120
 јонска врска -енергија 120

К

катодолуминисценција 113
 Кирјева температура 168
 кисели дождови 206
 Кјото протокол 208
 кластери 181
 клатрати 175
 коерцитивна јачина на полето 168
 компакт диск 240
 композитни материјали 189
 комуникациони системи 236
 космичко зрачење 158159

космичко зрачење 219
 космологија 159
 космос 138
 ковалентна врска 116
 крак на сила 58
 кристалофори 115
 критична јачина на магнетно поле 168
 квант енергија 76
 кванти 74
 квантна хромодинамика 136
 квантометри 107
 кварк 135
 кварк-лептонска симетрија 135

Л

лептони 130
 лептонски полнеж 133
 лиотропни течни кристали 177
 Лорд Релеј 77
 Лоренц Хендик 25
 Лоренцови реансформации 21
 лост 59
 луминисценција 112
 луминофори 115
 луминозитет 144

М

магични јадра 126
 маглини – дифузни 158
 маглини - планетарни 158
 маглини 158
 магнетен квантен број 95
 магнетен квантен број на спинот 95
 магнитуда на ѕвездите 153
 Мајклсон Алберт 20
 Мајклсонов експеримент 14
 Мајклсонов интерферометар 16
 Мајснеров ефект 166
 макроструктура 164
 меѓуѕвездена материја 147
 ментот на импулс – закон за запазување 68
 мезосфера 204
 микроскопија 172
 микроструктура 163
 миони 129
 Млечен Пат 138

модел на капка 125
 модел на капка 125
 модул на компресија 170
 молекуларни сили 121
 молекули 116
 момент на импулс 67
 момент на инерција 62
 момент на сила 58
 моментална аголна брзина 55
 моментално аголно забрзување 55
 Морли Едвард 20

Н

наноцевки 196
 наноматеријали 181
 нанотехнологији 181
 неинерцијален систем 7
 неутрино 129
 неутронски ѕвезди 149
 нискорadioактивен отпад 223
 ниво на гласност 216
 Нова 148

О

општа теорија на релативноста 47
 оптички регенератори 246
 орбитален квантен број 95
 орбитален магнетен момент 95
 орбитален момент 95
 ориентациони сили 122
 озонска дупка 214
 озонска обвивка 212

П

парадокс на близнаците 32
 пареек 152
 Паулиев принцип 99
 Планк Макс 77
 Планкова константа 77
 Планкова квантна хипотеза 74
 Погсонова формула
 полимери – фазна состојба 186
 полимери 185
 помнење форма 193
 порозно материјали 182
 потскокнувачи 175

позитрон 131
 прараг на чујност 216
 примцип на еквивалентност 48
 принцип на еквивалентност 51
 привидн магнитуда на ѕвездите 153
 просторен мактомолукул 186
 протон- протон циклус 156
 протонско-неутронски модел 125
 протонско-неутронски модел 125
 протосвезди 145
 Пуасонова константа 170
 пулсари 149

Р

radioактивен отпад 222
 радиолуминисценција 113
 референтен систем 6
 референтна точка 6
 релативистичка енергија 42
 релативистички импулс 45
 релативност на должините 33
 релативност на временските интервали 28
 Релеј-Џинсова релација 75
 реманенција 169
 рендген структурна анализа 173
 ротационо движ.-кинетичка енергија 69
 ротационо движење 57
 рутер 239

С

семиполомер 188
 семплување 234
 силни заемнодејства 134
 симплување – грешка 234
 синтерување 179
 синтерување течнoфазно 180
 синцирест мактомолукул 186
 слаби заемнодејства 134
 слоест модел 126
 слоест модел 126
 смектички течни кристали 177
 сончева енергија 229
 сонометар 218
 специјална теорија на релативноста 21
 спектар 105
 спектрална анализа – квантитативна 111

спектрална анализа 111
 спектрална анализа 111
 спектрална емисиона моќ 74
 спектрални апарати 106
 спектри – апсорпциони 110
 спектри – лентасти 109
 спектри – линиски 108
 спектри – млекуларни апсорпциони 110
 спектри – мисиони 108
 спектрофотографи 107
 спектрометри 107
 спектроскопи 107
 спектроскопија - инфрацрвена 105
 спектроскопија - ултравиолетова 106
 спектроскопија 105
 спин 103
 Стефан-Болцманов закон 143
 Стефан-Болцманов закон 143
 Стефан-Болцманова константа 143
 стеларна еволуција 145
 Стоксово правило 114
 стратосфера 204
 супер цин 146
 Супернова 148
 суперспроводливост 166
 светлосна година 152

Т

течни кристали 176
 телефонска мрежа 235
 телевизиска мрежа 238
 термоеластичност 194
 термолуминисцентни детектори 228
 термонуклеарни реакции 155
 термотропни течни кристали 177
 трагови детектори 227
 триболуминисценција 113
 тропопауза 204
 тропосфера 204

У

ултравиолетова катастрофа 76
 уникатни материјали 175

Ф

фермиони 99

ферофлуиди 168
 фибер оптички комуникации 245
 флуоресценција 115
 фосфоресценција 115
 фотографски – јонографски емулзии 227
 фотолуминисценција 113
 фотони 78
 фотосинтеза на озонот 212
 фулерени 195
 фулеренски наноцевки 196

Х

Хабл Едвин 160
 Хаблов закон 160
 Хаблова константа 160
 Хајзенберг Вернер 92
 Хајзенбергов принцип 89
 хемолуминисценција 113
 Хенри Дјепаров каталог 144
 Херцшпунг-Раселов дијаграм 146
 хиперфулерени 195
 хиперони 130
 хистерезис 1168
 Хјуиш Ентони 151
 хоризонт на Вселената 159
 хромогени паметни материјали 192
 хромосензитивност 194
 Хумболт Александар 208

Ц

ЦД пишуваач 242
 ЦД плеер 241
 цефеиди
 црна јама
 црни јами 150
 црвен цин 146

Ч

Чандрасекаров лимит

Ш

Шредингер Ервин 98
 Штајнрова теорема 63

СОДРЖИНА

ПРЕДГОВОР	3
1. ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА	5
1.1. ОСНОВИ НА РЕЛАТИВИСТИЧКАТА МЕХАНИКА	6
1.2. ПРИНЦИП НА РЕЛАТИВНОСТА ВО КЛАСИЧНАТА МЕХАНИКА И ГАЛИЛЕЕВИ ТРАНСФОРМАЦИИ	7
1.3. КЛАСИЧЕН ЗАКОН ЗА СОБИРАЊЕ НА БРЗИНИТЕ	11
1.4. МАЈКЛСОНОВ ЕКСПЕРИМЕНТ	14
1.5. АЈНШТАЈНОВИ ПРИНЦИПИ. ЛОРЕНЦОВИ ТРАНСФОРМАЦИИ	21
1.6. РЕЛАТИВНОСТ НА ЕДНОВРЕМЕНОСТА НА НАСТАНИТЕ	26
1.7. РЕЛАТИВНОСТ НА ВРЕМЕНСКИТЕ ИНТЕРВАЛИ	28
1.8. РЕЛАТИВНОСТ НА ДОЛЖИНИТЕ	33
1.9. АЈНШТАЈНОВ ЗАКОН ЗА СОБИРАЊЕ НА БРЗИНИТЕ	36
1.10. МАСАТА ВО СПЕЦИЈАЛНАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА	40
1.11. АЈНШТАЈНОВА РЕЛАЦИЈА ЗА ВРСКАТА МЕЃУ МАСАТА И ЕНЕРГИЈАТА	42
1.12. ОСНОВНИ ПОИМИ ЗА ОПШТАТА ТЕОРИЈА НА РЕЛАТИВНОСТА	47
2. РОТАЦИОНО ДВИЖЕЊЕ НА ТВРДО ТЕЛО	53
2.1. КИНЕМАТИКА НА ТВРДО ТЕЛО ВО РОТАЦИЈА	54
2.2. ДИНАМИКА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ. МОМЕНТ НА СИЛА ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА	57
2.3. ОСНОВЕН ЗАКОН НА ДИНАМИКАТА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ. МОМЕНТ НА ИНЕРЦИЈА	62
2.4. МОМЕНТ НА ИМПУЛСОТ ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА	66
2.5. ЗАКОН ЗА ЗАПАЗУВАЊЕ НА МОМЕНТОТ НА ИМПУЛСОТ НА ТЕЛО ПО ОДНОС НА ОСКАТА НА РОТАЦИЈА	67
2.6. КИНЕТИЧКА ЕНЕРГИЈА НА РОТАЦИОНОТО ДВИЖЕЊЕ	69
2.7. АНАЛОГИЈА ПОМЕЃУ ВЕЛИЧИНИТЕ И ЗАКОНИТЕ ПРИ ТРАНСЛАТОРНО И РОТАЦИОНО ДВИЖЕЊЕ	
3. ОД АТОМОТ ДО КОСМОСОТ	73
АТОМИ. МОЛЕКУЛИ	74
3.1. КВАНТИ	74
3.2. ФОТОНИ	78
3.3. ДУАЛНА ПРИРОДА НА ЧЕСТИЦИТЕ. ЕЛЕКТРОНСКА МИКРОСКОПИЈА	82
3.4. ХАЈЗЕНБЕРГОВ ПРИНЦИП	89

3.5. КВАНТНО-МЕХАНИЧКИ МОДЕЛ НА АТОМОТ	93
АТОМИ СО ПОВЕЌЕ ЕЛЕКТРОНИ	99
3.6. СПИН	103
3.7. СПЕКТРОСКОПИЈА	105
1. Спектрални апарати	106
2. Видови спекти	108
3.8. ЛУМИНИСЦЕНЦИЈА	112
3.9. МОЛЕКУЛИ	116
3.10. МОЛЕКУЛАРНИ СИЛИ	121
АТОМСКО ЈАДРО	125
3.11. МОДЕЛИ НА АТОМСКОТО ЈАДРО	125
ЕЛЕМЕНТАРНИ ЧЕСТИЦИ	127
3.12. ФУНДАМЕНТАЛНИ ЧЕСТИЦИ	127
3.13. АНТИЧЕСТИЦИ. АНТИМАТЕРИЈА	131
3.14. ВИДОВИ ЗАЕМНОДЕЈСТВА МЕЃИ ЕЛЕМЕНТАРНИТЕ ЧЕСТИЦИ	133
3.15. ПОИМ ЗА КВАРКОВИ. КВАРК-ЛЕПТОНСКА СИМЕТРИЈА	135
СТРУКТУРА НА ВСЕЛЕНАТА	138
3.16. ХИЕРАРХИСКА ОРГАНИЗАЦИЈА НА ВСЕЛЕНАТА ОД ЕЛЕМЕНТАРНИ ЧЕСТИЦИ ДО ГИГАНТСКИ ГАЛАКСИИ	138
3.17. ЗРАЧЕЊЕ ВО ВСЕЛЕНАТА	142
3.18. СТЕЛАРНА ЕВОЛУЦИЈА	145
3.19. ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА КАРАКТЕРИСТИЧНИТЕ ВЕЛИЧИНИ НА НЕБЕСКИТЕ ОБЈЕКТИ	152
3.20. ИНТЕРСТЕЛАРЕН ПРОСТОР. МЕЃУСВЕЗДЕНА МАТЕРИЈА	158
3.21. ВО СВЕТОТ НА ГАЛАКСИИТЕ	159
4. ФИЗИКА НА МАТЕРИЈАЛИ	162
4.1. СТРУКТУРА НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	163
4.2. ОСОБИНИ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ	165
- 1. Електрични особини	165
- 2. Суперенпроводност	166
- 3. Магнетни особини	167
- 4. Оптички особини	169
- 5. Механички особини	170
4.3. ИСПИТУВАЊЕ НА МАТЕРИЈАЛИТЕ:	172
- 1. Микроскопија	172
- 2. Рендген структурна анализа	173
- 3. Енергетски распоред на електроните	174
4.4. УНИКАТНИ МАТЕРИЈАЛИ	175
4.5. НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ ПОСТАПКИ НА ДОБИВАЊЕ МАТЕРИЈАЛИ	178

4. 6. ПОРОЗНИ МАТЕРИЈАЛИ	182
4.7. ПОЛИМЕРНИ МАТЕРИЈАЛИ	185
4.8. КОМПОЗИТНИ МАТЕРИЈАЛИ	189
4.9. ИНТЕЛИГЕНТНИ МАТЕРИЈАЛИ	192
4.10. ФУЛЕРЕНИ	195
5. ФИЗИКА НА ЖИВОТНАТА СРЕДИНА.....	199
5.1. ФИЗИКАТА И ЖИВОТНАТА СРЕДИНА	200
5.2. НЕКОИ ПРИМЕРИ И ИНФОРМАЦИИ ЗА ЗАШТИТА НА ЗДРАВАТА ЖИВОТНА СРЕДИНА ПРИ ИЗУЧУВАЊЕТО НА ФИЗИКАТА	201
5.3. ГЛОБАЛНИ КЛИМАТСКИ ПРОМЕНИ	204
5.4. ЕФЕКТОТ НА СТАКЛЕНА БАВЧА	209
5.5. ОЗОНСКАТА ОБВИВКА СЕ МЕНУВА	212
5. 6. ВЛИЈАНИЕТО НА БУЧАВАТА ВРЗ ЖИВИТЕ ОРГАНИЗМИ	216
5.7. ВЛИЈАНИЕТО НА ЈОНИЗИРАЧКИТЕ ЗРАЧЕЊА ВРЗ ЖИВИТЕ ОРГАНИЗМИ	219
5.8. РАДИОАКТИВЕН ОТПАД	222
5.9. ФИЗИЧКИ МЕРНИ МЕТОДИ И УРЕДИ ВО ЕКОЛОГИЈАТА	224
5.10. АЛТЕРНАТИВНИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈА	229
6. ФИЗИКА НА КОМУНИКАЦИИТЕ.....	232
6.1. АНАЛОГНО-ДИГИТАЛНА КОНВЕРЗИЈА	233
6.2. КОМУНИКАЦИОНИ СИСТЕМИ	236
6.3. КОМПАКТ ДИСК - ПЛЕЕР	240
6.4. ФИБЕР ОПТИЧКИ КОМУНИКАЦИИ	245
6.5. ЗАСИЛУВАЧИ	249
ИНДЕКС	253

Акционерско друштво за издавање учебници и наставни средства ПРОСВЕТНО
ДЕЛО – Скопје, ул. „Димитрија Чуповски“ бр. 15

★
За издавачот
м-р Павле ПЕТРОВ, генерален директор

★
АЛЕКСАНДАР АНДОНОВСКИ ЗОРА МИТРЕВСКА
ДОНЕ ГЕРШАНОВСКИ СТАНОЈА СТОИМЕНОВ ОЛИВЕР ЗАЈКОВ

**ФИЗИКА за IV година
природно математичко подрачје
комбинација А**

★
Лектор
Сузана СТОЈКОВСКА

★
Технички уредник
Новко ГРУЕВСКИ

★
Компјутерска обработка, прелом илустрации и коректура
Авторите

Ракописот е предаден во печат во август 2018 година. Печатењето е завршено во септември 2018 година. Обем: 260 страници. Формат: 20 x 25,5 см. Книгата е отпечатена во печатницата "Коста Абраш" АД - Охрид.

CIP – Каталогизација во публикација
Народна и универзитетска библиотека „Св. Климент Охридски“ – Скопје.

53(075.3)
53:502/504(075.3)
621.3:004.7 (075.3)

ФИЗИКА: за IV година природно математичко подрачје: комбинација А / Александар Андоновски, Зора Митреска, Доне Гершановски, Станоја Стоименов, Оливер Зајков, .
– Скопје : Просветно дело, 2004. – 256 стр. : илустр. 26 см.

ISBN 9989 - 0 - 0423 - 6
1. Андоновски Александар
COBISS .MK - ID 59582218
