

Срђан Вербић • Божидар Николић

# ФИЗИКА 8

Уџбеник са збирком задатака  
за осми разред основне школе



## ФИЗИКА 8

Уџбеник са збирком задатака за осми разред основне школе



Редакција Фондације Алек Кавчић

Аутор др Срђан Вербић, др Божидар Николић

Рецензенти др Милован Шуваков, Mayo Clinic, Минесота, САД

Љиљана Јанковић, „ОШ Бранко Радичевић”, Панчево

Јелена Марковић, Гимназија „Урош Предић”, Панчево

Главни уредник Крста Поповски

Предметни уредник Владимира Марић

Илустрације Shutterstock, Срђан Попов

Фотографије Shutterstock

Лектура и коректура Редакција Фондације Алек Кавчић

Ликовни уредник Слађана Николић

Дизајн и прелом Срђан Попов



Издавач Нова школа д. о. о.

Љубостињска 2, Београд

За издавача Оливер Кавчић

Штампа Дунав д. о. о., Земун

Тираж 20.000kom

ISBN 978-86-6225-102-2

CIP - Каталогизација у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

37.016:53(075.2)

**ВЕРБИЋ, Срђан-1970-**

Физика 8 : уџбеник са збирком задатака : за осми разред основне школе

/ Срђан Вербић, Божидар Николић ; [илустрације Срђан Попов]. - Београд

: Нова школа, 2023 (Земун : Дунав). - 224 стр. : илустр. ; 29 см

Тираж 20.000. - Појмовник: стр. 222-224.

ISBN 978-86-6225-102-2

1. Николић, Божидар, 1969- [автор]

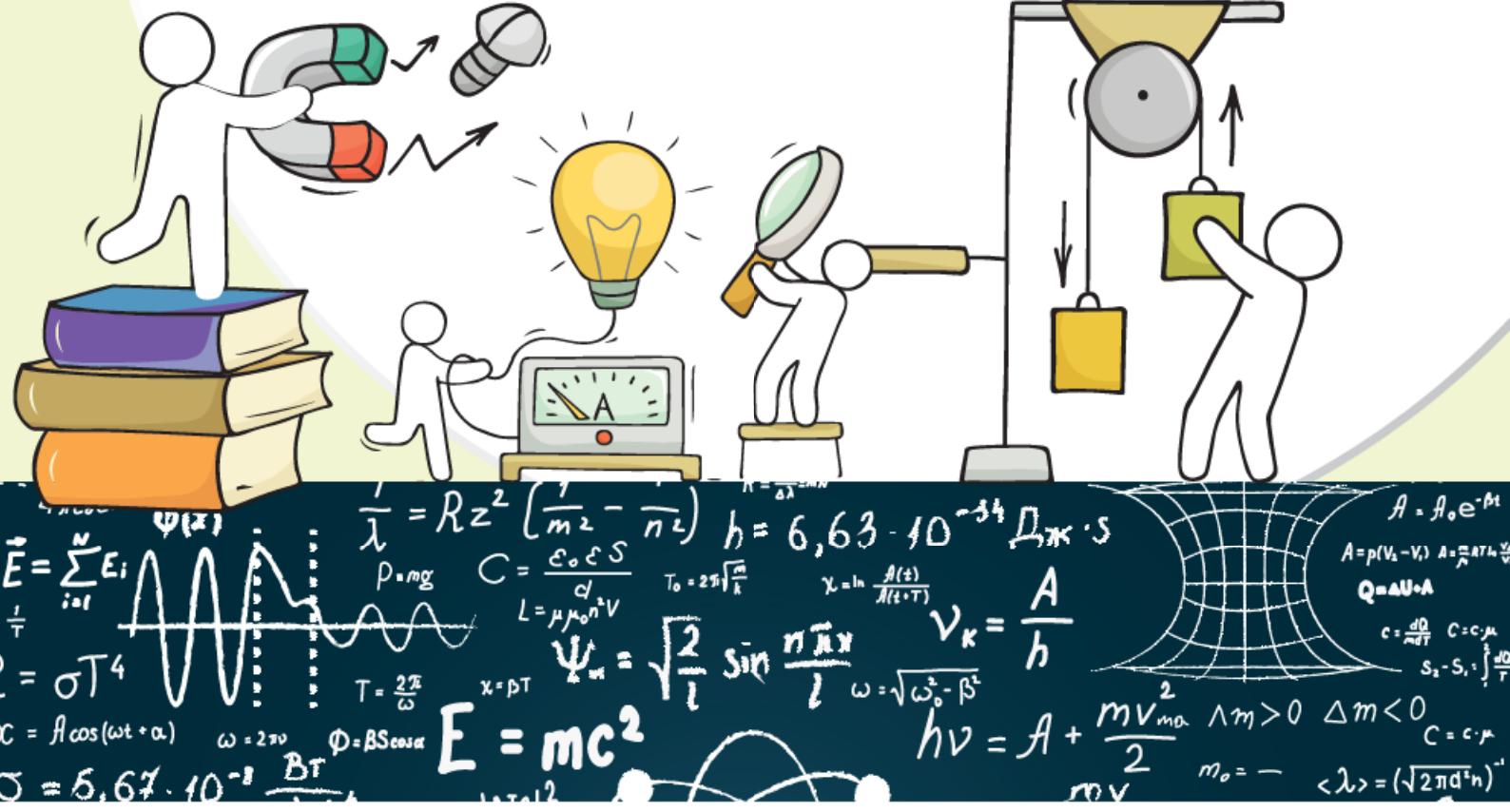
COBISS.SR-ID 131140617

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије одобрило је овај уџбеник за употребу у школама решењем број: 650-02-00190/2023-07 од 02. 11. 2023. године.

## ДРАГИ УЧЕНИЦИ,

Пред вами је књига у којој су обједињени уџбеник, збирка задатака и лабораторијски практикум за физику која се изучава у осмом разреду. Надамо се да ћете са лакоћом разумети оно што смо написали и да ће читање пробудити ваша интересовања за неке теме из домена природних наука. Ми смо се трудили да напишемо књигу коју неће читати само осмаци већ и сви они старији који желе да се подсете овог градива. Уживајте у откривању физике!

Аутори



# ВОДИЧ

Сазнај више – додатне чињенице и занимљивости које продубљују твоја знања

Међупредметно повезивање – науке се пружамају, многе појаве сте помињали на часовима других наставних предмета

## ОСЦИЛАЦИЈЕ

Посебна врста кртанаја је кртанаја која седука време понавља исте покrete. Понавља кртанају, али не у истом положају, него у другом. Овај вид кртанаја назива се **периодично кртанај**. Изложени су некој, па приме, датој којој се податаки маха или крти у зграјеном салу. Неке среће се, када само смехи и најаве, у прављеним хромеским размацима скупљају и шире, и тако прављени размацима називају **периодом кртанаја**.

Кртанаја која се понавља за исти начин у односима временских размацима назива се **периодично кртанај**. Такав прављени размак називају **периодом кртанаја**.

**Периодично кртанај**

Кртанаја који се прављеју као периодично кртанај, исте је једини начин који периодично кртанај. Кртанај Земље ској Сунчев је периодично, и Земља крти исте позиције на путу пролеће сваке 365,25 дана. Исто тако и на остале позиције у Сунчевом систему.

**Периодично кртанај**

Када се око Сунца крти у оквиру определеног временског интервала, тада је то **периодично кртанај**. Ово је обично кртанај који се правља у вртићу, али и у астрономији, када се крти у определеном временском интервалу.

**САЗНА ВИШЕ** — [Сазнај више](#)

Осилачије су у математици и информатицијама, често се може чујати да се користи око архитектонске или кристалне изграде.

**САЗНА ВИШЕ** — [Сазнај више](#)

Немачки физичар Херман фон Хемо (1837 – 1907) је 1864. најавио се био физичком електромагнетном појави. Многи од тих појава су саслушани, али је најпознатији изумрли око архитектонске или кристалне изграде.

**Херман фон Хемо**

Кључни појмови – најважнији појмови које ћеш упознати у овој лекцији

Оглед – извођење огледа помоћи ће ти да разумеш обраћене појмове

## ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ

Када у вакууму светло среће се са пречином или спуком, када је то мост који излази у воду. Ако се објект стави у плитку бистру воде, вода испод ће пречину што ствара илустрацију. Да бисте били разумнији што се догађа са светлом прије преласка у воду, унутри спукне оптичку вредност.

**МНОГОМАК** је један сајт који се посвећује оптичким појмовима. Поставите једну саопштења на тој страници да је то преласак светлости из вакуума у влагу, али да то не буде преласак светлости из влаге у вакуум. Затим, не посматранији кроз влагу, посматранији илустрацију у воду, скроз до врха. Као потпредати у мозак, са истог места, видите светло скроз до илустрације. Потпредати имате што се преласак светлости вади сте скроз илустрацију у воду.

**ОГЛЕД** У гравију јасно је да нејф (преласак) ствари имена. Поставите једну саопштења на тој страници да је то преласак светлости из вакуума у влагу, али да то не буде преласак светлости из влаге у вакуум. Затим, не посматранији кроз влагу, посматранији илустрацију у воду, скроз до врха. Као потпредати у мозак, са истог места, видите светло скроз до илустрације. Потпредати имате што се преласак светлости вади сте скроз илустрацију у воду.

**ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ** У гравију јасно је да нејф (преласак) ствари имена. Поставите једну саопштења на тој страници да је то преласак светлости из вакуума у влагу, али да то не буде преласак светлости из влаге у вакуум. Затим, не посматранији кроз влагу, посматранији илустрацију у воду, скроз до врха. Као потпредати у мозак, са истог места, видите светло скроз до илустрације. Потпредати имате што се преласак светлости вади сте скроз илустрацију у воду.

**ОПТИЧКА ГУСТИНА** је један сајт који се посвећује оптичким појмовима. Поставите једну саопштења на тој страници да је то преласак светлости из вакуума у влагу, али да то не буде преласак светлости из влаге у вакуум. Затим, не посматранији кроз влагу, посматранији илустрацију у воду, скроз до врха. Као потпредати у мозак, са истог места, видите светло скроз до илустрације. Потпредати имате што се преласак светлости вади сте скроз илустрацију у воду.

**ОГЛЕД** У гравију јасно је да нејф (преласак) ствари имена. Поставите једну саопштења на тој страници да је то преласак светлости из вакуума у влагу, али да то не буде преласак светлости из влаге у вакуум. Затим, не посматранији кроз влагу, посматранији илустрацију у воду, скроз до врха. Као потпредати у мозак, са истог места, видите светло скроз до илустрације. Потпредати имате што се преласак светлости вади сте скроз илустрацију у воду.

**ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ** У гравију јасно је да нејф (преласак) ствари имена. Поставите једну саопштења на тој страници да је то преласак светлости из вакуума у влагу, али да то не буде преласак светлости из влаге у вакуум. Затим, не посматранији кроз влагу, посматранији илустрацију у воду, скроз до врха. Као потпредати у мозак, са истог места, видите светло скроз до илустрације. Потпредати имате што се преласак светлости вади сте скроз илустрацију у воду.

**ЗАКОНИ ПРЕЛАМАЊА СВЕТЛОСТИ:**

Када светлости зрак прелази из оптичког рејса у оптички гушћи средину, угларни угао њега је од преласка ( $\alpha > \beta$ ). Тада зрак спреће да нормализи.

Када светлости зрак прелази из оптичког гушћа у оптички рејса средину, угларни угао њега је од преласка угла ( $\alpha < \beta$ ). Тада зрак спреће од нормализе.

Ако је угларни светлости зрак нормализан на границу појаса ( $\alpha = \beta$ ), он најави скретање.

Код које светлости зрак скретају, зависи од бројне просперитета светлости у првој и другој средини. Што је већа разлика у бројима то је скретање зрака веће. Физичка величина која је мера оваке просперитета светлости у две средине јесте индекс преласка.

**ИНДЕКС ПРЕЛАМАЊА** (и) је који бројни представљају бројне светлости у вакууму и у тој средини:

$i = \frac{c_1}{c_2}$

$c_1$  – бројна светлост у вакууму,  
 $c_2$  – бројна светлост у средини.

Поред апсолутног индекса преласка често се користи и апсолутни индекс преласка (и), који је количина бројна светлости у десној средини:

$i = \frac{c_1}{c_2}$

$i$  – апсолутни индекс преласка (и).

$c_1$  – бројна светлост у првој средини,  
 $c_2$  – бројна светлост у другој средини.

СРЕДИНА	Индекс преласка (и)
Вакуум	1,00
Вода	1,33
Лед	1,31
Алкохол	1,36
Стакло	1,50
Карбон	1,54
Дигамит	2,42

Табела 2.3. Апсолутни индекс преласка у некој средини

Подсећање – подсећање на раније стечана знања потребна у овој лекцији

Дефиниција – формуле и објашњења нових физичких појмова посебно су истакнути

**Сажетак** – списак објашњења свих нових појмова у поглављу

Касије јој утвђено да брзина светлости није иста у свим сре-  
динама. Нојтај је закуум, то јест у мултидимензијаном простору.

Олиф Темп је измирио управо ту брзину.

Брзина светлости у закууму износи  $300\,000\,000\text{ km/s}$ .

Брзина светлости у вакууму је скора са брзином светлости у закууму. У другим срединама може да буде знатно мања. Што је највиша скора брзина светлости иако, тада се назива **отпорна густина**. Стакло је отпорна густина од вакуума, а ваздух је отпорна густина од стакла, као што можемо да видимо у следећој табели.

Извор: [http://www.fizika.com](#)

СРЕДИНА	БРЗИНА СВЕТЛОСТИ [km/s]
Лед	239 000 000
Ваздух	325 000 000
Стакло	300 000 000
Дијамант	120 000 000

Табела 2.1. Брзина светлости у различним срединама

Колико је времена потребно да светлост са Сунца стигне до Земље? Растројне између Сунца и Земље износи приближно  $150\,000\,000\text{ km}$ .

ПОДАЦИ

ВРЕМЕНОСТ

РЕШЕЊЕ:

На основу формуле за израчунавање времена код равномерног праволинијског кретања:  $t = \frac{s}{v}$

Ако је брзина једнака брзини светлости у закууму:  $t = \frac{s}{c}$

$$t = \frac{150\,000\,000\text{ km}}{300\,000\text{ km/s}} = 500\text{ s} = 8\text{ min }20\text{ s}$$

Наку представљају о растојањима у свемиру можамо да добијемо ако поступимо с опадајућом табелом којом је светлост потрошала времена да пристигне растојања.

ТАБЕЛА

РЕЗУЛТАТ

РАСТОЈАЊЕ	ВРЕМЕНОСТ
Земља – Месец	1,3 s
Сунце – Земља	8 мин 20 s
Сунце – Нептун	5,5 h
Сунце – звезда Прославије Кентавру (једна од најдаљих звезда)	4,3 год

Табела 2.2. Уређени са-  
забавски податаки

## САЖЕТАК

• Типа која имају светлост највиши са светлосним измеравањем.

• Кроз изванземске средине светлост се простира по кривулји.

• За неке светлости можемо да кажемо да је тачка која је искласија од предмета који осветљава или која је најближе предмету од предмета који осветљава.

• Светлост и покрети су посебни правацнији простирањи светлости.

• Светлост обично свети.

– удаљији удаљији су сифобим (уза  $t = \frac{s}{c}$ ).

– удаљији, нормални и сифобни удаљији постоје.

• Светлост обично не се спрема и откладава.

• Сферни отпорни светлости.

– удаљији јужни су сифобим и иступчани.

• Карактеристични доказ су синји зрак чији су прашице простирања после сифобнија од отпорних позитива.

• Брзина светлости је посебна брзина у природи.

–  $c = 300\,000\,000\text{ km/s}$

• Што је у неким срединама брзина светлости мања, тада се зрак ће губити.

• Акоје промене светлости:

– када светлост крајема из сопствене руке узима губити среће, а удаљији удаљији од премошћен удаљи, зрак спадаји на нормале.

– када светлост крајема из сопствене руке узима губити среће, а удаљији удаљији од премошћен удаљи, зрак спадаји на нормале.

• Точкова светлост је једна од сваких зрака преводи из отпорних губити у сопствену губити, удаљији удаљији од премошћен удаљи, зрак спадаји на нормале.

• Точкова светлост је једна од сваких зрака преводи из отпорних губити у сопствену губити, удаљији удаљији од премошћен удаљи, зрак спадаји на нормале.

• Симетрија се бира сабирком (коенцијом) или расејањем (коенцијом).

• Зраки који су паралелни са главном оптичком осом сабирком сечења после преводија сечују у точку која називају макета точка.

– удаљији су сифобнији, појачани, а сечења су сифобнија.

• Колико разлика се преводија просечној светлости уједној точки – акоје је једнакојејији расејањем сечења. Само расејање сечења има максималне жице, гејзерске удаљије и срце, центар сечења.

• Отпорнији једини сечења обележавају са грчким словима  $\alpha$  и  $\beta$  и израчунавају се:  $\frac{1}{t} = \frac{1}{c} + \frac{1}{v}$

• Мерни јединици за отпорније сечење јесу  $\text{d} = \frac{c}{t}$

• Удаљији сечења јединоје:  $\frac{1}{t} = \frac{1}{c} + \frac{1}{v}$

• Једначина сабирком:  $\frac{1}{t} = \frac{1}{c} + \frac{1}{v} + \frac{1}{w}$

• Једначина расејањем:  $\frac{1}{t} = \frac{1}{c} - \frac{1}{v} - \frac{1}{w}$

• Најчешће коришћени оптички инструменти су: телескоп, дистајн, пројекциони апарат, пута, микроскоп и нарочите

**Задатак** – решен пример задатка са применом обраћеног градива

**Пројекат** – практичан задатак који се ради самостално или по групама

ПРОЈЕКАТ – ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕВИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТЕНТЕ ОТПОРНОСТИ																									
<b>ЦИЉ ПРОЈЕКАТА:</b> Експериментот, тј. измерувањето, утврдува ли је еквивалентната отпорност за три или повеќе вклучени отпорници иста као и средната која добиена со теориски, односно рачувачно.																									
<b>УЧИЛЧУВАЊЕ:</b> За реализација на проектот потребна је отворка из школска лабораторија. Препоручува се да се пројектат и изградат и групите од пет ученици.																									
<b>ТЕК ПРОДУКТ:</b> 1. Составете пакет комбинација од три различниот отпорника ( $R_1$ , $R_2$ и $R_3$ ) познати отпорности. Запишете која сте отпорностите избрани.																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><math>R_1</math>[Ω]</th> <th><math>R_2</math>[Ω]</th> <th><math>R_3</math>[Ω]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. комбинација</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2. комбинација</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3. комбинација</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4. комбинација</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5. комбинација</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			$R_1$ [Ω]	$R_2$ [Ω]	$R_3$ [Ω]	1. комбинација				2. комбинација				3. комбинација				4. комбинација				5. комбинација			
	$R_1$ [Ω]	$R_2$ [Ω]	$R_3$ [Ω]																						
1. комбинација																									
2. комбинација																									
3. комбинација																									
4. комбинација																									
5. комбинација																									
2. За скзу комбинацију отпорника покажете следни поступак:																									
<p>Покажете тие три отпорника, јазар структура, амперметар и волтметар како на слика.</p>																									
<p>3. Составете рачувачки еквивалентен отпорник <math>R_{eq}</math> отпорника приказани на слика користејќи правилот за израчнување еквивалентна отпорноста редно и паралелно вклучени отпорници: <math display="block">\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}</math></p>																									

**Задаци** – скуп питања и задатака који би требало да допринесу бољем разумевању и прихватању пређеног градива

**Задаци**

1. Колико је количина највећи електрична кута, ако се на њој налази вишак од  $3 \cdot 10^6$  енергетских јединица?
2. Колико је електрична трансформаторска стапа у складу са шинама, ако је посаја највећи количински кофицијент  $8 \cdot 10^{-4}$ ?
3. Једре узимајући састав од 92 протона и 146 на урону. Извршите математички израчет.
4. Колико електрична је потребне да би човек у укупно највећи енергетски потрошњи у користио  $10^9$  кВт·ч?
5. Колико је симбол највеће дужине највећи енергетски потрошњи у користио  $3 \cdot 10^4$  А·м?
6. Две купчице највећи енергетски потрошњи су у положајима којима највећи енергетски потрошњи се највећим расстояјајем од 30 см. Колико је симбол највеће дужине највећи енергетски потрошњи у користио?
7. Дајте упутице највећим и најмањим највећим пријатељима  $-4 \cdot 10^{-3}$  А·м<sup>2</sup> узакому на расстояјају од 0,5 м. Извршите описаном кофицијентом највећи енергетски потрошњи.
8. Две купчице највећи енергетски потрошњи имају највећи енергетски потрошњи у користио  $3 \cdot 10^4$  А·м<sup>2</sup>. Израчунати колико кофицијентом највећи енергетски потрошњи се највећим расстояјајем од 90 N.
9. Како ће се променити симбол највећег делованаја највећи највећи енергетски потрошњи у користио  $\pm 4$  јесу:

  - a) позада 2 пута;
  - b) симбол с пута;

10. дајте највећи енергетски купчице се симболе у ваздуху на највећим расстояјајима са променити највећим симболом највећег делованаја ако се једна купчица погоди у тај пут? Како ће се променити највећи највећим расстояјајима погоди у тај пут?
11. Колико је симбол највећег делованаја раза енергетика који се налази од 1 m? Какво ће бити симбол највећег делованаја и простирају пода испод њега?
12. Учите симбол највећег делованаја највећи енергетски потрошњи од 2C, датујте симбол највећег делованаја потрајају 20 t тајаке?
13. Коликом симболом је највећи енергетски потрошњи, јама на  $3 \frac{M}{C}$ , највећи највећи највећи енергетски потрошњи  $0,5 \text{ m}^2 C$ ?
14. Одредите јачину електричног поля у удаљености 4 m од купчице највећим, количином највећи енергетски  $-8 \cdot 10^4$  А·м<sup>2</sup>.

**Провери знање** – скуп  
кратких питања о  
основним појмовима  
изложеним у лекцији

**ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ**

- Шта су магнети?
- Како попознајмо сваки магнет и како се они називају?
- Како сви могу уздржати да држеју два магнета?
- Која је верна једињка за магнитну индукцију?
- Највећа линија сила магнетног поља шириштак магнета.
- Највећа линија сила магнетног поља планете Земље
- Како ради компас?
- Највећа линија сила магнетног поља правог проводника кроз који проличи струја?
- Како изгледа магнетно поље густо намотаног катиона?
- Шта је електромагнет?
- Да ли на проводнику кроз који проличи амперова струја и који се налази у магнетном пољу датује нека сила?
- Од чега зависи свака јединица узданој датују да паралелни проводници кроз које проличи струја?
- У ком се од приказаних положаја два магнета најчешће прилачеју?

1.

2.

3.

4.

- На коју је од четири тако приказана на слици магнетно поље најдуже?
- + 2  
+ 1      N      0      + 3
- + 4
- Како су намотиштак шипак који су добијени као је шипасти магнет проширен на два дела по дужини? На цртежу до добијене шипак утишите одговарајућа ознака магнетних поља.

# САДРЖАЈ

<b>1. ОСЦИЛАТОРНО И ТАЛАСНО КРЕТАЊЕ.....</b>	<b>7</b>	<b>4. ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА.....</b>	<b>99</b>
Осцилације.....	8	Електрична струја .....	100
Одржање енергије при осциловању тела ..	13	Извори електричне струје .....	103
Механички таласи.....	16	Струјно коло .....	108
Звук.....	21	Мерење електричне струје и напона .....	110
Сажетак.....	25	Омов закон и електрична отпорност .....	111
Провери знање .....	26	Везивање отпорника.....	116
Пројекат .....	29	Рад и снага електричне струје .....	119
Задаци .....	30	Електрична струја у течностима и гасовима .....	122
<b>2. СВЕТЛОСНЕ ПОЈАВЕ .....</b>	<b>33</b>	Сажетак.....	124
Увод у светлосне појаве .....	34	Провери знање .....	126
Праволинијско простирање светlostи .....	36	Пројекат .....	130
Одбијање светlostи.....	38	Задаци .....	132
Равна огледала .....	40	<b>5. МАГНЕТНО ПОЉЕ .....</b>	<b>143</b>
Сферна огледала .....	43	Појава магнетизма .....	144
Конструкција ликова код сферних огледала .....	45	Магнетно поље .....	146
Брзина светlostи .....	49	Магнетно поље електричне струје .....	150
Преламање светlostи.....	52	Дејство магнетног поља на струјни проводник .....	153
Тотална рефлексија .....	55	Сажетак .....	157
Преламање светlostи кроз плочу и призму .....	57	провери знање .....	158
Сочива .....	59	Пројекат .....	161
Одређивање положаја ликова код сочива	61	<b>6. ЕЛЕМЕНТИ АТОМСКЕ И НУКЛЕАРНЕ ФИЗИКЕ .....</b>	<b>163</b>
Оптички инструменти.....	64	Структура атома .....	164
Сажетак.....	67	Изотопи и радиоактивни распад .....	167
Провери знање .....	69	Радиоактивно зрачење и живи свет .....	170
Пројекат .....	70	Нуклеарна физија .....	174
Задаци .....	71	Нуклеарна физија .....	177
<b>3. ЕЛЕКТРИЧНО ПОЉЕ .....</b>	<b>75</b>	Сажетак .....	179
Наелектрисање тела.....	76	провери знање .....	180
Неутралне честице и неутрална тела ..	79	Пројекат .....	184
Узајамно деловање наелектрисаних тела ..	81	<b>7. ФИЗИКА И САВРЕМЕНИ СВЕТ .....</b>	<b>185</b>
Електрично поље .....	84	Класична физика .....	186
Потенцијална енергија електричног поља	86	Пројекат .....	192
Електричне појаве .....	90	<b>8. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ВЕЖБЕ .....</b>	<b>193</b>
Сажетак.....	92	<b>9. РЕШЕЊА .....</b>	<b>203</b>
Провери знање .....	93	<b>10. ПОЈМОВНИК .....</b>	<b>222</b>
Пројекат .....	96		
Задаци .....	97		

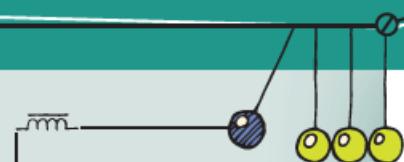
# ОСЦИЛАТОРНО И ТАЛАСНО КРЕТАЊЕ

У овом поглављу упознаћете се са кретањем које се стално понавља на исти начин – осциловањем.

Дете на љуљашци осцилује док се љуља. Тело окачено о опругу осцилује горе-доле. Осцилације неког тела увек изазивају поремећаје у околини. Ако је средина таква да осцилације могу да се пренесу на честице средине, јавља се таласно кретање.

Врло важна врста таласа је звук.

# ОСЦИЛАЦИЈЕ



- периодично кретање
- период кретања
- равнотежни положај
- осцилаторно кретање
- осцилације
- фреквенција
- елонгација
- амплитуда
- клатно
- математичко клатно
- слободне осцилације

Посебна врста кретања је кретање које се дуже време понавља на исти начин. При таквом кретању, тело које се креће стално пролази кроз исте положаје на путањи, после одређеног времена. На овакав начин се креће, на пример, дете које се љуља на љуљашци или клатно у зидном сату. Наше срце се, када смо смиренi и неактивни, у правилним временским размацима скупља и шири, и тако пумпа крв кроз крвне судове.

Кретање које се понавља на исти начин у једнаким временским размацима назива се **периодично кретање**. Такав временски размак називамо **периодом кретања**.



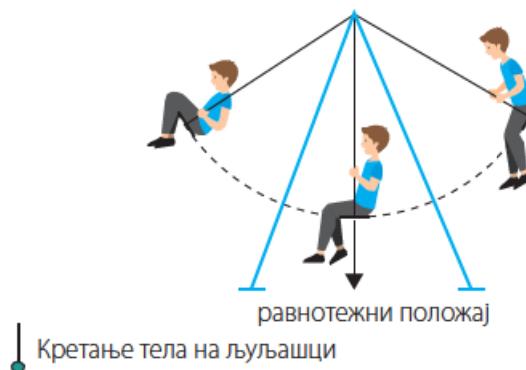
Периодично кретање љуљашке



Кретање по кружној путањи које се периодично понавља, јесте још један важан вид периодичног кретања. Кретање Земље око Сунца је периодично, и Земља кроз исте положаје на путањи пролази сваких 365,25 дана. Исто важи и за остале планете у Сунчевом систему.



Када не би било трења и отпора ваздуха, лъуљање на лъуљашци би трајало неограничено дugo. Ипак, у стварности, силе трења (на месту где је лъуљашка окачена) и отпора ваздуха ће, после доволно дugo времена, зауставити лъуљашку. Положај у којем се лъуљашка коначно зауставља, назива се **равнотежни положај**. Равнотежни положај лъуљашке одговара њеном вертикалном положају.



Периодично кретање тела око равнотежног положаја по одређеној путањи, назива се **осцилаторно кретање**. Осцилаторно кретање јесте посебан вид периодичног кретања. Дете на лъуљашци, док се лъуља, осцилује око вертикалног равнотежног положаја.

Једна пунa осцилација је кретање тела између два узастопна проласка кроз исту тачку на путањи која је на највећем растојању од равнотежног положаја.

**Период осциловања** је време за које тело направи једну осцилацију. Означава се великим словом **T**. Мерна јединица за период је **секунда (s)**.

Период осциловања тела које за време **t** направи **n** осцилација израчунава се по формулама:

$$T = \frac{t}{n}$$

Током осциловања кретање се у свим осцилацијама понавља на исти начин. Тело које осцилује назива се **осцилатор**. Основни услов да би тело осциловало јесте да на њега делује сила која увек тежи да га врати у равнотежни положај.

Број осцилација у једној секунди назива се **фреквенција** (учесталост) осциловања. Фреквенцију ћемо означавати грчким словом **ν** (чита се ни).

Фреквенција је реципрочна вредност периода:

Мерна јединица за фреквенцију је **херц (Hz)** и  $\text{Hz} = \frac{1}{s}$

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Два најважнија примера осцилаторног кретања у физици јесу **кретање тела на опрузи** и **кретање клатна**.



• Да ли је кретање лифта у некој згради периодично?  
А кретање покретних степеница?

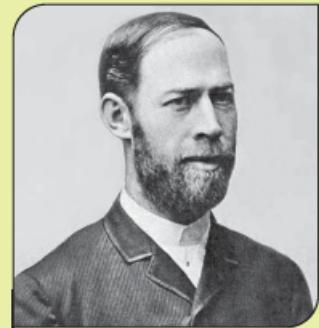
• У каквој су вези фреквенција и период осциловања?

### САЗНАЈ ВИШЕ

Осцилације се у механици називају и **вибрацијама**. Често се може чути да атоми у молекулу или кристалу вибрирају.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Немачки физичар **Хајнрих Рудолф Херц** (Хамбург, 1857 – Бон, 1894) највише се бавио физиком електромагнетних појава. Многе од тих појава јесу осцилаторне. Једна од најважнијих величина које описују осцилације јесте фреквенција, односно, учесталост осцилација. Мерна јединица за фреквенцију – **херц** – добила је име по овом немачком научнику.

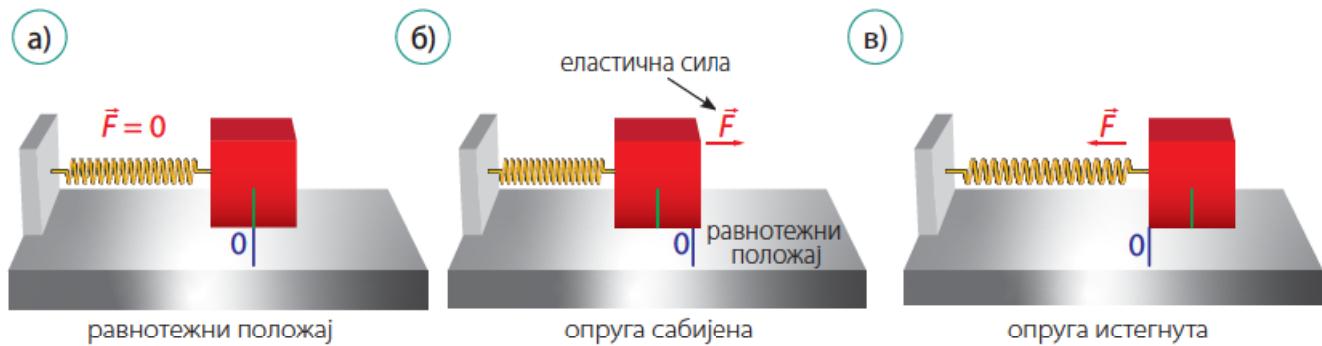


Хајнрих Рудолф Херц



## ПРИМЕР ОСЦИЛАТОРНОГ КРЕТАЊА – ТЕЛО НА ОПРУЗИ

Пример за периодично кретање је кретање тела које је закачено за еластичну опругу. Ако се тело закачено за опругу постави на водоравну подлогу, покретањем почиње да се креће напред-назад (лево-десно). У случају када се трење између тела и подлоге може занемарити, онда равнотежни положај одговара положају у коме опруга није ни истегнута ни сабијена.



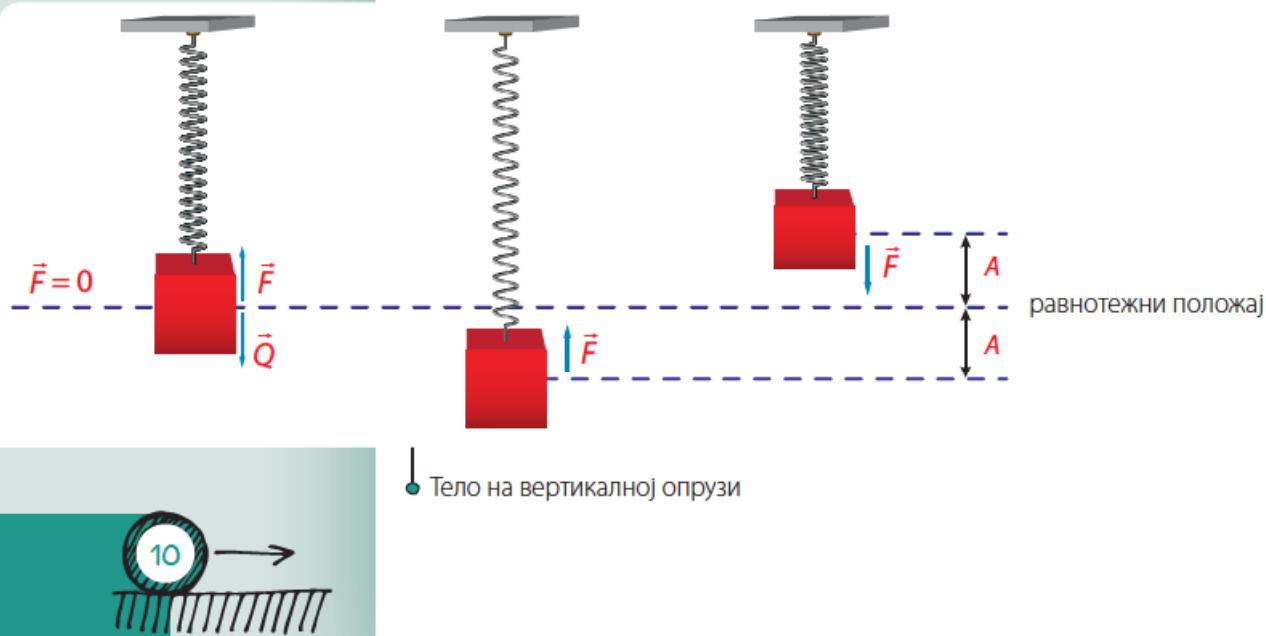
Тело на водоравној опрузи: а) мирује, б) креће се улево, в) креће се удесно

Нека је опруга са телом окачена тако да стоји вертикално. Ако се помери из мировања, почеће да се креће горе-доле. Тело се креће увек по истој, вертикалној путањи, али периодично мења смер кретања. Равнотежни положај је онај у коме је тело мировало пре покретања.

У оба примера тела на опрузи, еластична сила опруге ( $\vec{F}$ ) враћа тело у равнотежни положај. Опруга гура тело ка равнотежном положају кад је сабијена, а кад је развучена, вуче тело назад.

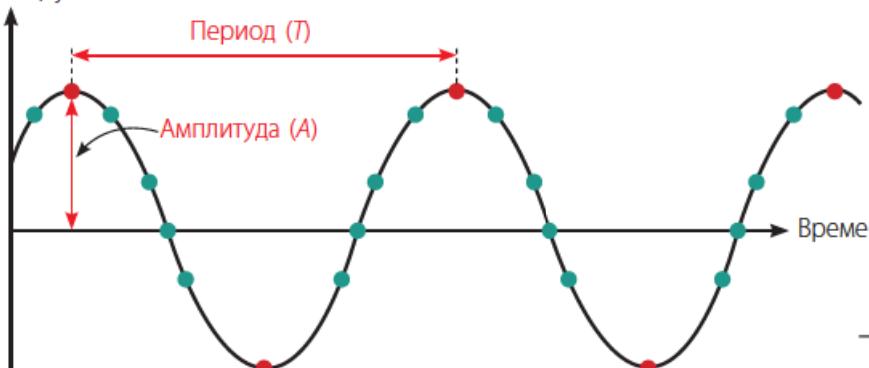
За тело на опрузи, растојање између тела и равнотежног положаја у одређеном тренутку назива се **елонгација**.

Највеће растојање од тела до равнотежног положаја назива се **амплитуда**. Најчешће се обележава словом **A**.



Када бисмо пажљиво бележили растојање тела од равнотежног положаја током неколико периода осциловања, и нацртали одговарајући графикон, то би изгледало као на слици:

Елонгација



### ПРИМЕР ОСЦИЛАТОРНОГ КРЕТАЊА – КЛАТНО

**Клатно** је систем који се састоји од тела и неистегљиве нити, који слободно осцилује.

Клатно је најједноставнији облик луљашке. Када клатно које мирује, померимо из равнотежног положаја и пустимо да се слободно креће, оно ће стално пролазити кроз исте положаје, односно, понављаће исто кретање. Током кретања, на тело све време делује сила Земљине теже ( $\bar{Q}$ ) која настоји да тело врати у равнотежни положај. Због тога тело осцилује око равнотежног положаја.

Идеалан (идеализован) случај клатна је математичко клатно. У случају **математичког клатна** претпоставља се да је нит о коју је тело окачено неистегљива, да се маса нити може занемарити у поређењу са масом тела, као и да је тело занемарњивих димензија у односу на дужину клатна. Сила трења у тачки вешања, као и сила отпора ваздуха, занемарују се. Осцилације при којима се амплитуда не мења током времена, називамо **слободним** (или непригушеним) **осцилацијама**.

Математичко клатно посебно је битно јер за њега важе једноставне везе између дужине клатна и периода његовог осциловања. Ако су испуњени сви претходно наведени услови за клатно, период осциловања зависи само од дужине клатна. Што је клатно дуже, то период дуже траје, и обратно.

Ако са  $\ell$  означимо дужину клатна, са  $g$  убрзање Земљине теже, онда се период осциловања  $T$  израчунава по формулама:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

Период осциловања математичког клатна не зависи од угла отклона на почетку осциловања ( $\theta$ ). Пошто период математичког клатна зависи само од дужине клатна, онда важи:

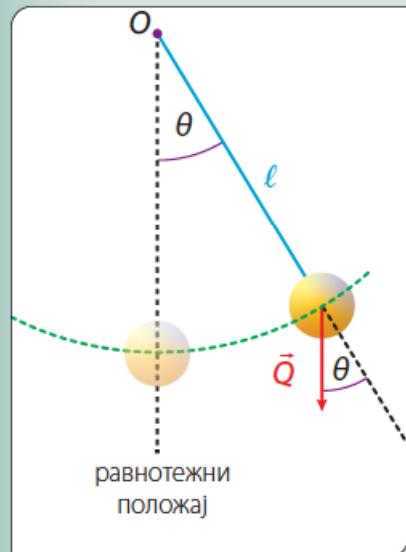
Математичка клатна исте дужине имају исти период осциловања.

Та правилност омогућава нам да меримо време бројећи осцилације клатна.

### ПОДСЕЋАЊЕ

У шестом разреду сте учили да је **еластична сила** – сила која се противи промени облика тела. Она увек тежи томе да деформисаном телу врати првобитни облик.

Зависност елонгације од времена



Кретање клатна

### ПОДСЕЋАЊЕ

У математици сте учили да број  $\pi$  представља Лудолфов број, то јест, количник обима и пречника круга. У овом уџбенику за рачунање користимо:

$$\pi \approx 3,14$$

$$O = d \cdot 3,14$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

### ЗАДАТАК

Колики је период осциловања математичког клатна чија дужина износи 1 m?

#### ДАТИ ПОДАЦИ:

Дужина клатна:

$$\ell = 1 \text{ m}$$

Убрзање земљине теже:

$$g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Лудолфов број:

$$\pi \approx 3,14$$

$$T = ?$$

#### РЕШЕЊЕ

Период математичког клатна:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

$$T = 2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{0,1 \text{ s}^2}$$

$$T = 1,99 \text{ s} \approx 2 \text{ s}$$

### САЗНАЈ ВИШЕ

**Први часовник с клатном** конструисао је холандски физичар **Кристијан Хајгенс**, у XVII веку. Часовници су се подешавали тако што се клатно скраћивало или продужавало. Пре часовника с клатном, коришћени су пешчани и водени сатови.

У данашњим часовницима такође се користе осцилатори за одређивање времена. Ти осцилатори, међутим, више нису клатна, већ електрична кола.



Часовник с клатном



### САЗНАЈ ВИШЕ

Да би неко клатно могло да се описује као математичко, потребно да буде испуњен читав низ практичних услова:

- нит на коју је тело обешено увек мора да буде затегнута;
- нит мора да буде неистегљива;
- маса нити мора бити много мања од масе тела;
- димензије тела морају бити много мање од дужине клатна;
- амплитуда осцилација мора да буде мала у односу на дужину клатна;
- тачка вешања не сме да осцилује;
- у тачки вешања трење се може занемарити;
- отпор ваздуха се може занемарити.



Немојте да памтите наведене услове за прављење математичког клатна, јер сличних услова има још. Уместо да их меморишете, пробајте да закључите – на који би начин неиспуњавање ових услова угрозило својства математичког клатна?



- Да ли највећа елонгација може да буде већа од амплитуде?
- Колико пута клатно прође кроз равнотежни положај за време једног периода?
- Од чега све зависи период осциловања математичког клатна?
- Тело је окачено о опругу и виси вертикално. Да ли је у равнотежном положају опруга неистегнута?
- Када клатно мирује, оно је у равнотежном положају. У седмом разреду сте учили о услову који мора да буде испуњен – да би неко тело било у равнотежи. Ако на тело делују сile, онда у равнотежи мора да буде више од једне сile која делује на тело. Које сile делују на тело окачено о нит, када је оно у равнотежи?



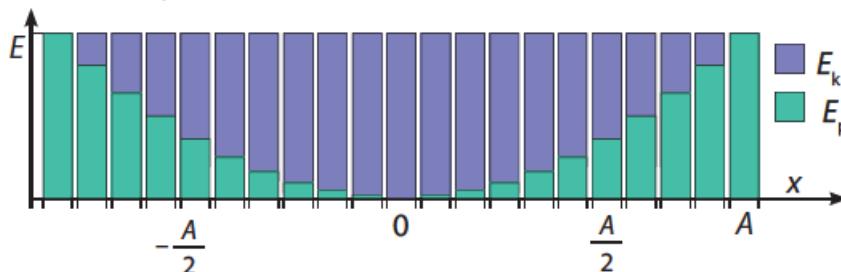
# ОДРЖАЊЕ ЕНЕРГИЈЕ ПРИ ОСЦИЛОВАЊУ ТЕЛА

Током осциловања, кинетичка енергија тела се периодично претвара у потенцијалну, и обратно. У случају слободних осцилација, занемарили смо силе трења и отпора средине (ваздуха). У таквом случају укупна механичка енергија је одржана, односно, нема губитака енергије.

Математичко клатно се зауставља у **амплитудним положајима**. Због тога је, у та два положаја, кинетичка енергија једнака нули, односно, укупна механичка енергија је једнака потенцијалној енергији клатна ( $E = E_p$ ). Висина клатна у амплитудном положају је максимална  $h = h_0$ .

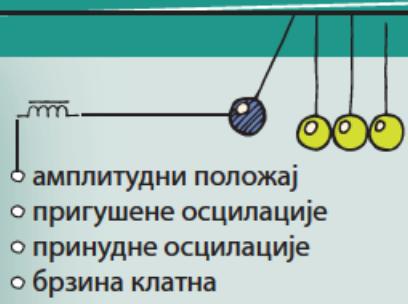
Док се клатно креће, кинетичка енергија му није једнака нули. Када клатно пролази кроз равнотежни положај, тада му је брзина највећа током кретања ( $v_{\max}$ ). С друге стране, то је најнижи положај клатна, па се може узети да му је у равнотежном положају ( $h = 0$ ) потенцијална енергија једнака нули ( $E_p = 0$ ). Тада је укупна механичка енергија једнака кинетичкој енергији клатна ( $E = E_k$ ).

У свим осталим положајима ( $h$  је између 0 и  $h_0$ ), клатно има и кинетичку и потенцијалну енергију, с тим што је њихов збир увек исти ( $E = E_k + E_p$ ).



**Закон одржавања механичке енергије:** при осциловању тела укупна механичка енергија у сваком тренутку има исту вредност.

Уреалности нема клатна које не „губи“ енергију због отпора средине. Дугачка и тешка клатна могу сатима да се луљају без приметног „губитка“ енергије, али се на крају сва клатна заустављају. **Пригушене осцилације** јесу оне код којих се амплитуда осцилација смањује током времена. Пример за ту врсту осцилатора јесте љуљашка коју изведемо из равнотеже и пустимо да се сама луља. Током времена, њена се амплитуда смањује, док се коначно не заустави у равнотежном положају. Смањење амплитуде јесте последица губитка кинетичке енергије, пре свега, због трења и отпора ваздуха. Када бисмо посматрали растојање између љуљашке и равнотежног положаја током времена, промена растојања изгледала би као на графикону поред.



## ПОДСЕЋАЊЕ

Подсети се шта су кинетичка енергија, потенцијална енергија и укупна механичка енергија.



Амплитудни и равнотежни положаји тела

**Положаји 1 и 3 (амплитудни):**

$$h = h_0$$

$$v = 0, E_k = 0, E = E_p$$

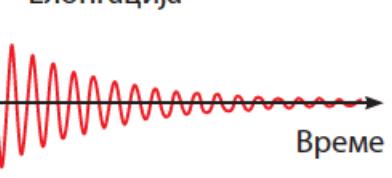
**Положај 2 (равнотежни):**

$$h = 0$$

$$v = v_{\max}, E_p = 0, E = E_k$$

Укупна механичка енергија клатна: збир кинетичке и потенцијалне енергије увек је исти, али се мења њихов однос.

Елонгација



Пригушене осцилације

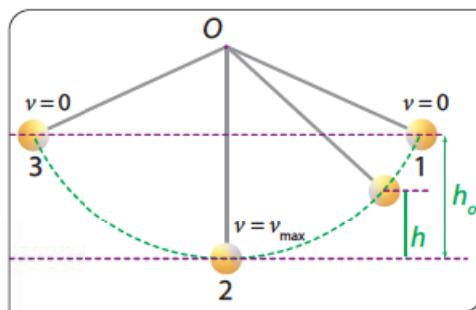


13

Уколико постоји спољашња сила која делује на осцилатор и тако му повећава или смањује енергију, такве осцилације називамо **при-нудним осцилацијама**. Пример таквог осцилатора јесте љуљашка на којој се девојчица љуља, а коју њен друг периодично одгурује, повећавајући тако брзину кретања љуљашке.

## БРЗИНА КЛАТНА

Видели смо да математичко клатно, при слободним осцилацијама, не „губи“ механичку енергију. Ово може да се искористи да се нађе брзина куглице клатна у било ком тренутку, односно за било који угао отклона.



Нека је куглица доведена у положај 1 приказан на слици, и пуштена да слободно осцилује.

Пошто је механичка енергија константна током времена, онда је она једнака потенцијалној енергији клатна у амплитудном положају 1, односно  $E = mgh_0$ .

**Механичка енергија** клатна у амплитудном положају може се израчунати као:

$$E = mgh_0$$

У било ком другом положају, док не стигне до другог амплитудног положаја, укупна механичка енергија клатна једнака је збире кинетичке и потенцијалне енергије:

$$E = \frac{mv^2}{2} + mgh = mgh_0, \frac{v^2}{2} + gh = gh_0.$$

Одавде се добија израз за брзину клатна на одређеној висини.

**Брзина клатна на висини  $h$  је**

$$v = \sqrt{2g(h_0 - h)}$$

За положаје 1, 2 и 3 изрази за енергије и брзину дати су у табели.

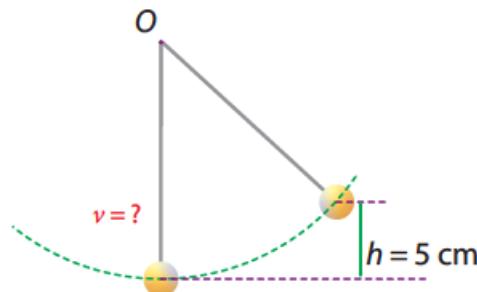
Положај на путањи	Време $t$	Висина $h$	Потенцијална енергија $E_p$	Кинетичка енергија $E_k$	Брзина $v$
1	0	$h_0$	$mgh_0$	0	0
2	$\frac{T}{4}$	0	0	$mgh_0$	$\sqrt{2gh_0}$
3	$\frac{T}{2}$	$h_0$	$mgh_0$	0	0





**ЗАДАТAK**  
Математичко клатно је отклоњено из равнотежног положаја тако да се куглица налази на висини  $h = 5$  см. Клатно је затим пуштено да осцилује. Колика је брзина клатна у тренутку када пролази кроз равнотежни положај?

#### ДАТИ ПОДАЦИ:



Висина на којој је куглица пре почетка кретања:

$$h = 5 \text{ cm}$$

Убрзање земљине теже:

$$g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$v = ?$$

#### РЕШЕЊЕ

Механичка енергија клатна је на почетку кретања једнака потенцијалној енергији куглице:  $E = E_p$

$$\text{Потенцијална енергија куглице: } E_p = mgh$$

$$\text{Кинетичка енергија клатна: } E_k = m \frac{v^2}{2}$$

Механичка енергија у равнотежном положају је једнака кинетичкој енергији:

$$E = E_k$$

$$m \frac{v^2}{2} = mgh$$

$$v^2 = 2gh$$

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

$$v^2 = 2 \cdot 10 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \cdot 0,05 \text{ m}$$

$$v^2 = 1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

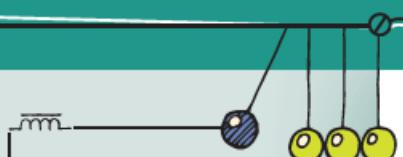
$$v = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



- У ком положају осцилатор има највећу кинетичку енергију?
- Колика је брзина клатна у амплитудном положају?
- Због чега се љуљашка пуштена да осцилује и препуштена сама себи, на крају увек заустави?
- Да ли је самостално љуљање детета на љуљашци добар пример слободних осцилација? Објасни.



# МЕХАНИЧКИ ТАЛАСИ



- механички талас
- трансверзални талас
- лонгитудинални талас
- амплитуда таласа
- таласна дужина
- фреквенција таласа
- брзина таласа

До сада смо проучавали слободне осцилације, оне код којих околина не утиче на кретање тела. Поред тога, поменули смо пригушене осцилације, код којих околина утиче на осциловање – тако што их слаби. Врло занимљиво и важно питање: како тело које осцилује утиче на средину у којој се креће.

Тело које осцилује у некој средини изазива покретање честица средине које су у непосредној околини тела. Ове честице даље утичу на кретање њима суседних честица, и тако даље. На овај начин се преноси поремећај, односно осциловање које у некој средини изазива осцилатор. Преношење осцилација кроз неку средину назива се **механички талас**. Преношењем осцилација се, кроз средину, заправо преноси енергија. Место на којем започиње таласно кретање, односно, место где се налази осцилатор, назива се **извор таласа**.

Приликом таласног кретања, честице средине осцилују око равнотежних положаја, преносе осцилације и енергију на блиске честице. Оне не прелазе велика растојања, иако талас може да захвати честице средине које су међусобно врло много удаљене. Како ће се осцилације с једне честице преносити на суседне, зависи од својства средине кроз коју се талас креће.



Патке праве таласе на води

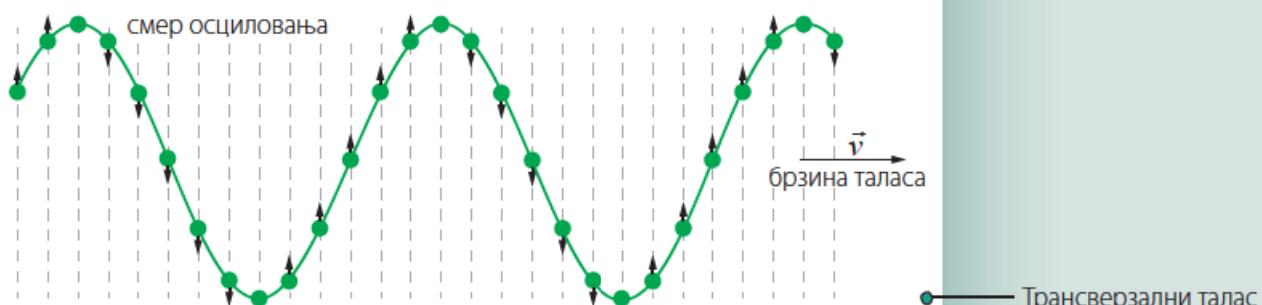
Узмимо, на пример, таласе на површини воде. Баците каменчић даље од обале и приметићете како он, када упадне у воду, створи таласе. Таласи се крећу у свим правцима и дођу до обале. Таласи на површини воде преносе осцилације настале уласком каменчића у воду, не преносе молекуле воде. Молекули воде осцилују око својих равнотежних положаја.

Када неко говори, он ствара звучне таласе који стижу до ушију саговорника. На тај начин, они чују говорникove речи. Ваздух преноси осцилације, а не путују молекули ваздуха од гласних жица говорника до ушију слушалаца. Они, та-које, осцилују око својих равнотежних положаја.

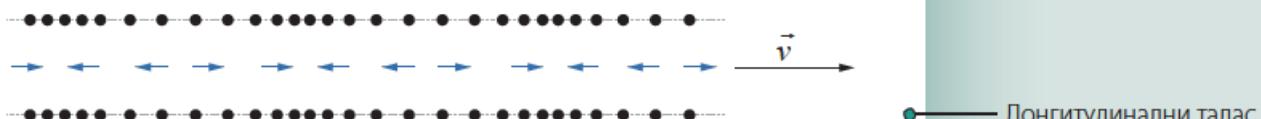
Осцилације се са извора – на околину – преносе захваљујући силама које делују између честица средине. Те силе враћају честице у равнотежни положај: када су две честице превише близу, оне их раздвајају, а кад су далеко, оне их привлаче. Видели сте да је постојање овакве силе неопходан услов за осцилаторно кретање. Честица средине која осцилује због оваквих сила помери блиске честице из равнотежног положаја. Тада све оне почну да осцилују, и истовремено померају њима блиске честице из равнотежног положаја. На овај начин се осциловање преноси кроз средину.

## ВРСТЕ МЕХАНИЧКИХ ТАЛАСА

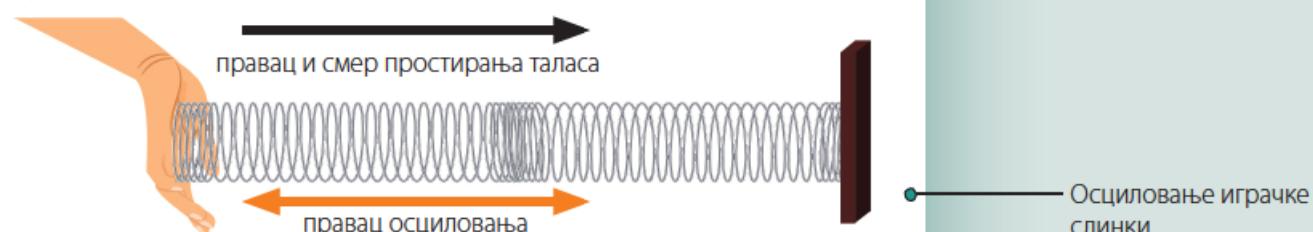
Честице средине могу да осцилују на разне начине током преношења таласа. Постоје два посебна случаја. Таласи код којих честице осцилују нормално на правац простирања таласа називају се **трансверзалним (попречним) таласима**.



Таласи код којих честице осцилују дуж правца простирања таласа називају се **лонгитудиналним (уздужним) таласима**. Најбољи пример таквог кретања јесте звук.

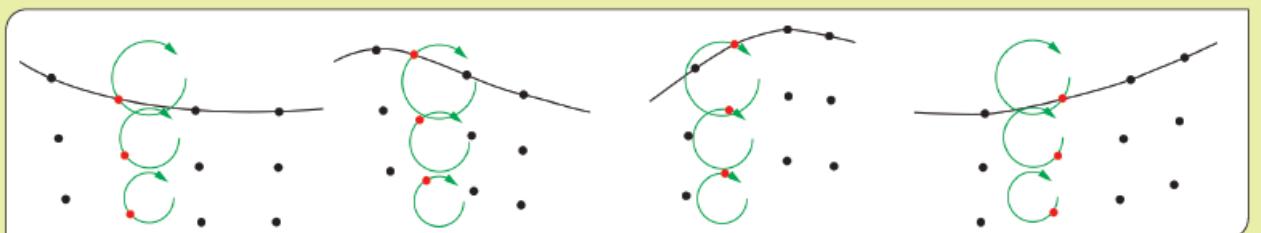


Пример за лонгитудиналне таласе може да буде осциловање дечје играчке слинки. Један крај се фиксира, док се други помера напред-назад.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Таласи на површини воде далеко од обале, пример су **сложеног таласа**. Таласи на води су и лонгитудинални и трансверзални. Делићи воде круже око равнотежног положаја на малом растојању, док талас прелази огромна растојања.



- Шта талас преноси кроз простор кроз који се простира?
- Која су два основна типа таласа?

## ТАЛАСНА ДУЖИНА, АМПЛИТУДА И ФРЕКВЕНЦИЈА ТАЛАСА

На сликама на претходној страни су приказани трансверзални и лонгитудинални талас. Назначен је и начин на који честице осцилују. Места на којима су честице најдаље од равнотежног положаја, код трансверзала таласа, називају се **брег и доља таласа** (види слику). Растојање од врха на брегу таласа до равнотежног положаја једнако је **амплитуди таласа** ( $A$ ). Амплитуда је дужина, па је њена мерна јединица метар (m). Код лонгитудиналног таласа брегу и дољи одговарају места на којима је густина честица највећа, односно, најмања. Основне величине које описују талас јесу таласна дужина, фреквенција таласа и брзина таласа.

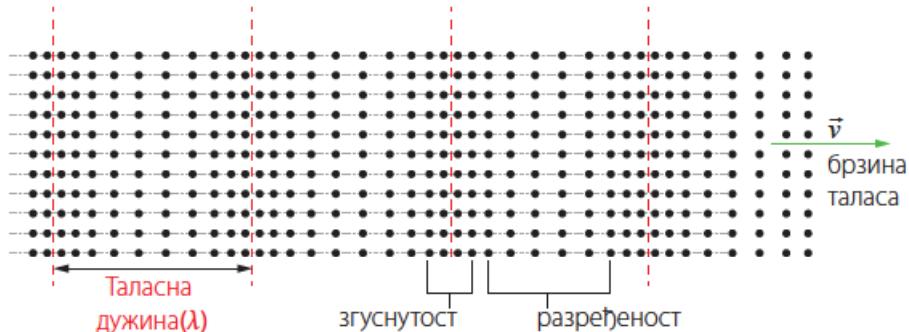
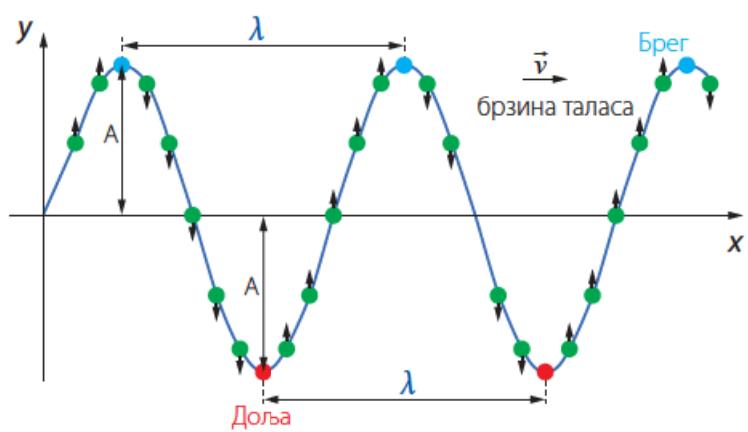
**Таласна дужина** је растојање између две честице средине које осцилују на исти начин. Исти начин – подразумева да су честице у истом тренутку, на истом растојању од равнотежног положаја, да имају исту брзину, да се крећу у истом смеру. На пример, таласна дужина је растојање између два суседна брега таласа. Таласна дужина најчешће се означава грчким словом  $\lambda$  (чита се „ламбда“) и мери у метрима.

Све честице које чине талас осцилују са истим периодом, односно, истом фреквенцијом. Фреквенција којом честице осцилују назива се **фреквенција таласа**. Фреквенцију таласа ћемо означавати грчким словом  $\nu$ , као код осцилација. Мерна јединица за фреквенцију је **херц (Hz)**.

Таласна дужина код трансверзала таласа

**САЗНАЈ ВИШЕ**  За честице које се при осциловању крећу на исти начин (исто растојање од равнотежног положаја, иста брзина и исти смер кретања, у истом тренутку) кажемо да се налазе у истој фази. Растојање између најближих честица које су у истој фази једнако је таласној дужини.

Таласна дужина код лонгитудиналног таласа





### САЗНАЈ ВИШЕ

**Таласни фронт** обухвата честице које осцилују у истој фази. Према облику таласног фронта, таласе можемо да поделимо на сферне и равне.

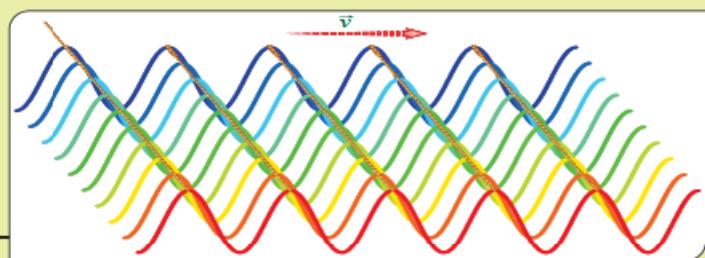
Пример сферног таласа јесте талас који настаје на површини воде када у њу бацимо каменчић. Таласни фронт сферних таласа је кружница.

Сферни талас



Таласни фронт равних таласа је права линија или раван. Равни таласи су, заједно, таласи врло далеко од извора, па се закривљеност фронта не примећује.

Таласни фронт равног таласа



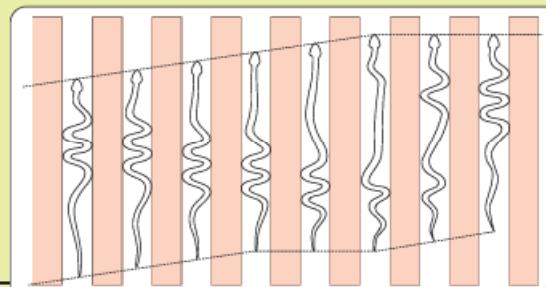
### САЗНАЈ ВИШЕ

Два начина кретања змије много подсећају на таласно кретање:

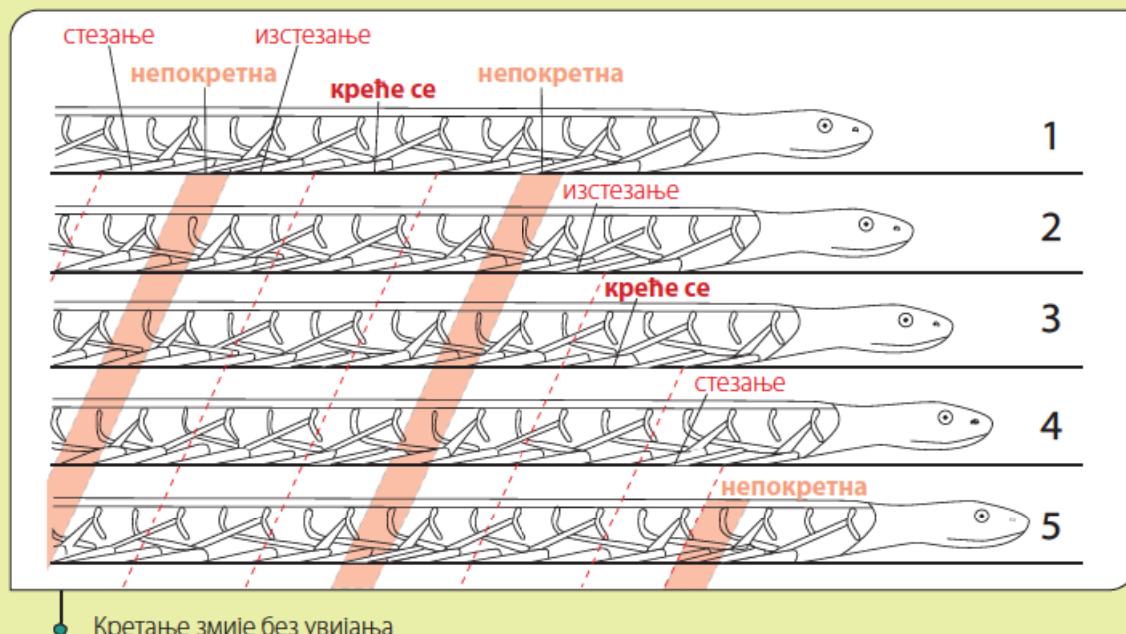
#### 1. Кретање змије увијањем

На слици је приказана змија која се увија од главе ка репу. Закривљени део се преноси уназад, док се змија креће напред.

Кретање змије увијањем



**2. Кретање змије без увијања:** Овако се крећу велике змије, питон или боа. На једном малом сегменту мишићи змије се стегну тако да тај део тела чврсто прионе на подлогу. Област стегнутих мишића лагано се преноси ка репу, остављући практично непокретна у односу на подлогу, док остатак тела иде ка напред. Ово је заправо прави лонгитудинални талас који се преноси кроз тело змије.



Кретање змије без увијања

**Брзина таласа** означава брзину којом се преносе осцилације од једне до друге честице средине.

Талас се најбоље види ако се посматра кретање брега таласа. Брг таласа не стоји на једном месту, већ се креће. Брзина којом се брг таласа помера јесте брзина таласа ( $v$ ). Брг таласа пређе пут једнак таласној дужини ( $\lambda$ ) за време од једног периода ( $T$ ). Одавде можемо да изведемо израз за брзину таласа.

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$\lambda$  – таласна дужина

$T$  – период осциловања

Мерна јединица за таласну дужину је метар, за период секунд, па је мерна јединица за брзину таласа  $\frac{m}{s}$ .

На основу везе фреквенције таласа и периода, брзина таласа се може израчунати и из израза:

$$v = \frac{1}{T} \quad v = \lambda \cdot \nu$$

$\lambda$  – таласна дужина

$\nu$  – фреквенција таласа



Колики је период осциловања таласа ( $T$ ), који се простира брзином ( $v$ ) од  $6 \frac{m}{s}$ , а таласна дужина ( $\lambda$ ) му је  $12 m$ ?

**ДАТИ ПОДАЦИ:**

Брзина простирања таласа:

$$v = 6 \frac{m}{s}$$

Таласна дужина таласа:

$$\lambda = 12 m$$

$$T = ?$$

**РЕШЕЊЕ**

Брзина простирања таласа:  $v = \frac{\lambda}{T}$

Период осциловања:  $T = \frac{\lambda}{v}$

$$T = \frac{12 m}{6 \frac{m}{s}} = 2 s$$

Брзина таласа није исто што и брзина осциловања честица у таласу. **Брзина осциловања** јесте тренутна брзина кретања честице око равнотежног положаја.

Док честица изврши једну осцилацију, односно, за време једног периода  $T$ , талас пређе растојање једнако таласној дужини  $\lambda$ . За то време, честица која осцилује прелази растојање четири пута веће од амплитуде таласа:  $4 \cdot A$ .

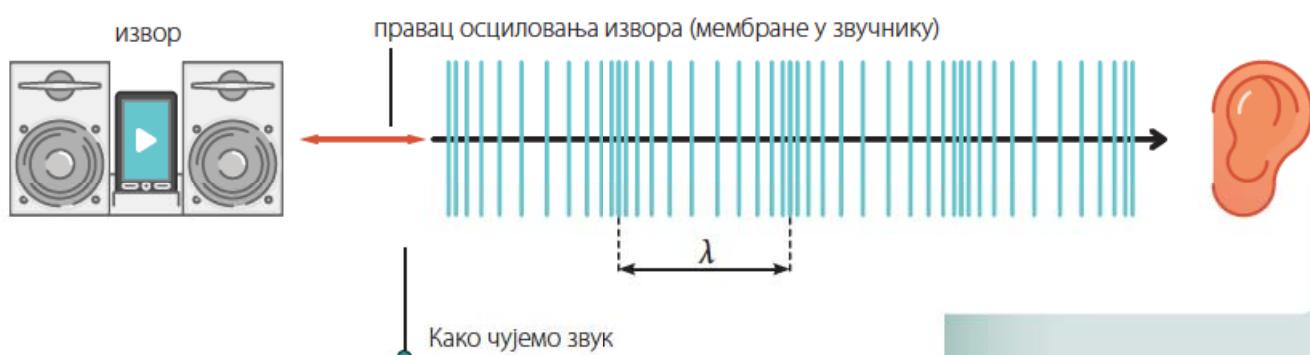
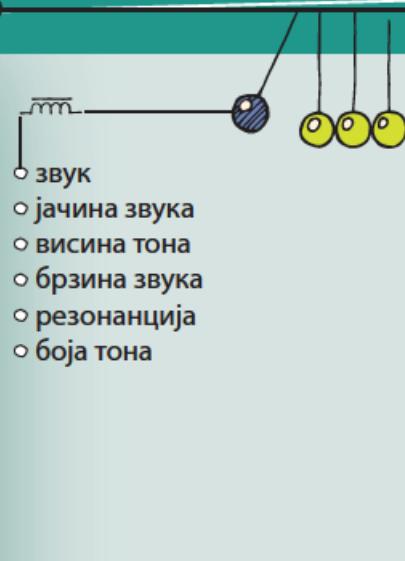


- Која се мерна јединица користи за фреквенцију таласа?
- Два таласа се простиру кроз исту средину истом брзином. Који талас има већу таласну дужину, онај са већом или онај са мањом фреквенцијом?



# ЗВУК

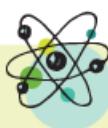
Тела која осцилују преносе осцилације на своју околину. Уколико се осцилатор налази у ваздуху, честице ваздуха осцилују тако да се наизменично згушњавају и разређују. У областима у којима су честице збијеније, ствара се виши притисак ваздуха. Тамо где су честице разређеније, притисак је нижи. Такви поремећаји преносе се кроз ваздух и тако настаје **звук**, односно звучни талас. Наше бубне опне осцилују због промена ваздушног притиска и, на тај начин, ми чујемо звук.



Звук карактеришу три величине, јачина звука, висина и боја тона. **Јачина звука** зависи од амплитуде осцилација у ваздуху. Што је амплитуда звучног таласа већа, звук је јачи.

Тон је звук само једне, тачно одређене фреквенције. У природи звук никада није талас са само једном фреквенцијом, већ га чине тонови различитих фреквенција. Сви они заједно одређују јачину звука. **Висина тона** је исто што и његова фреквенција. Када звук садржи више тонова, сваки тон има своју висину, односно фреквенцију. Зато се не може говорити о висини звука, већ само о висини тона.

Звук је готово увек мешавина различитих тонова чија се јачина мења. Уколико је мешавина тонова таква да се ниједан посебно не издава, онда такав звук називамо шумом. Пример „чистог“ звука, то јест тона, јесте осциловање жице на гитари. С друге стране, примери шума јесу шуштање лишћа, шкрипање или звук мотора.



**Музички тонови** имају тачно одређене фреквенције. Приближне фреквенције тонова прве октаве дате су у табели (изражене су у Hz):

C C D D E F G A H	c	cis	d	dis	e	f	fis	g	gis	a	ais	h
	261,6	277,2	293,7	311,1	329,6	349,2	370	392	415,3	440	466,2	493,9

Октаве се деле на 12 полутонова. Однос фреквенција суседних полутонова износи приближно 1,06. Тон А има фреквенцију тачно 440 Hz, и често се користи за штимовање инструмената.

**САЗНАЈ ВИШЕ**

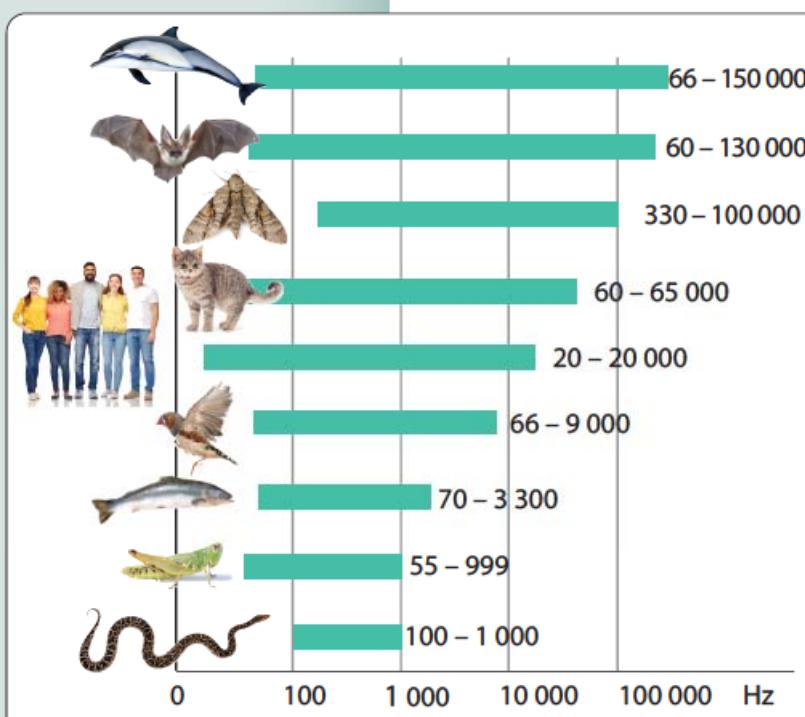
Антички математичар **Питагора** (VI век п. н. е.) није знао за таласну природу звука и за фреквенцију, али је препознао једноставан математички однос између дужина струна које производе пријатан звук. Као лепи доживљавају се они звуци код којих између фреквенција тонова постоји однос малих целих бројева (1 : 2, 2 : 3 или 3 : 4).



### САЗНАЈ ВИШЕ

Ултразвук мале јачине се користи у медицини у дијагностичке сврхе. Омогућава посматрање и мерење унутрашњих органа, крвних судова, као и беба у stomaku код трудница, без штетних ефеката на ткива.

Осцилатори могу да осцилују на више фреквенција истовремено. Најнижа од тих фреквенција назива се **основном фреквенцијом**. **Хармоници** су тонови који имају два, три, четири итд. више фреквенције од основне фреквенције тона. **Боја тона** јесте својство тона које зависи од тога колике су амплитуде осцилација на основној фреквенцији и хармоницима. Боја тона зависи од особина извора звука. Због тога се музички инструменти разликују по боји тонова које производе. Исти тон другачије звучи на клавиру него, рецимо, на флаути.



Област фреквенција које могу да чују поједине животињске врсте и луди



### ОГЛЕД

**ЗВУК ЗАТЕГНУТЕ ЖИЦЕ:** Узмите дугачак, танак комад металне жице и учврстите га на оба kraja за непомичне предмете. Прстом затегните и отпустите жицу на средини и посматрајте како жица вибрира и производи звучне таласе који се могу чути. Висину тона можете да промените тако што мењате дужину жице или силу којом је затежете.

Људско уво чује звук фреквенције између 20 Hz и 20 kHz, при чему је најосетљивије на фреквенције од 1 kHz до 5 kHz. Основне фреквенције људског говора припадају управотом интервалу. Звук с фреквенцијом већом од 20 kHz називамо **ултразвуком**, док звук с фреквенцијом мањом од 20 Hz називамо **инфразвуком**. Неке животиње, као што су китови и слепи мишеви, могу да чују ултразвук фреквенције преко 100 kHz. Слепи мишеви сами испуштају ултразвук и онда ослушкију његов одјек. То им омогућава да се добро оријентишу и у мраку.

## БРЗИНА ЗВУКА

Звучни таласи су лонгитудинални механички таласи и простиру се само кроз материјалну средину. Правац згушњавања и разређивања средине кроз коју се звучни талас простира поклапа се с правцем кретања тог таласа. Ако је извор звука тачкаст и ако нема препрека, звук се шири у свим правцима.

Брзина звука у ваздуху на собној температури износи око  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Иако је то велика брзина у поређењу с брзином тела која се крећу у нашој околини, ми ипак можемо да приметимо како је звуку потребно неко време да стигне до нас. Код севања муње, на пример, ми муњу видимо неколико секунди пре него што чујемо громљавину. То је због тога што светлост много брже пређе растојање од облака до нас него звук. Брзина простирања звука зависи од својства средине кроз коју се звук простира и од њене температуре. На пример, брзина звука у ваздуху се повећава са порастом температуре.



Брзина звука већа је у чврстим телима, него у течностима, или у ваздуху. То је последица веће густине супстанције у којој су молекули или атоми на мањем међусобном растојању, што омогућава брже преношење осцилација.

У табели су дате приближне вредности брзине звука за различите супстанције. У вакууму нема честица које би преносиле звук. Због тога се звук не простира кроз вакуум.

Супстанција	Брзина [ $\frac{\text{м}}{\text{s}}$ ]
Ваздух на 0 °C	331
Ваздух на 20 °C	343
Вода	1500
Лед	3300
Стакло	5400
Гвожђе	6000

## РЕЗОНАНЦИЈА

Кад год осцилатору периодично додајемо енергију, настају принудне осцилације. То се дешава када родитељ периодично гура дете на љуљашци. Може да се деси да родитељ, гурајући скоро истом силом све време, променивши фреквенцију гурања, у једном тренутку значајно повећа амплитуду љуљашке. За одређену љуљашку постоји само једна фреквенција на којој отклон постаје стварно велики.

Та фреквенција практично је иста као фреквенција коју би љуљашка имала када бисмо је пустили да сама осцилује. Сила којом периодично делујемо на осцилатор назива се **принудна сила**.

Појава у којој фреквенција принудне сile постане врло блиска или једнака фреквенцији осцилатора назива се **резонанција**. При резонанцији амплитуда осциловања може драматично да се повећа, па понекад и да разори осцилатор. То се дешава зато што се при свакој осцилацији принудном силом додаје енергија у правом тренутку. Фреквенцију на којој осцилатор најјаче осцилује називамо **резонантном фреквенцијом**.

Када не би било резонанције, неке звукове било би готово немогуће чути. Осцилације жице на гитари врло би се слабо чуле када не би било тела гитаре, то јест, њене **резонантне кутије**. У тој кутији, осцилације жице периодично додају енергију честицама ваздуха у кутији, и оне осцилују све јаче. Због тога сви акустички музички инструменти имају резонантне кутије које појачавају звук. Конструкција резонантних кутија врло је сложен посао. Област физике која се бави звуком и свим повезаним појавама јесте акустика.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Људима је од давнина познато да се неки звукови, као што је, на пример, топот коњских копита, пре чују кроз земљу – него кроз ваздух. Због тога су наши преци прислањали уво на земљу, како би чули да ли се очекивани коњаник или кочија приближавају. Та појава последица је чињенице да је брзина простирања звука у тлу, које је чврсто, већа него у ваздуху.



### ОГЛЕД

**ЗВУК ЧАШЕ СА ВОДОМ:** Да бисте демонстрирали звук користећи чаши са водом, напуните неколико истих чаша различитим количинама воде. Врло лагано и пажљиво једну по једну чашу ударажте кашиком и слушајте како производе различите тонове. Количина воде у чашама мења фреквенцију вибрација.

Резонантна кутија гитаре



## САЗНАЈ ВИШЕ



Тела која добро преносе вибрације увек имају резонантну фреквенцију на којој амплитуде осцилација могу да постану неконтролисано велике. Познати су примери мостова који су се срушили због резонанције. Мост у Бротону, у Енглеској, срушио се 1831. године, због војника који су по њему марширали, то јест, због периодичних уудара њихових чизама по мосту.

Познат је и случај рушења моста код града Такома (САД) услед резонанције под удајима ветра. Аутентичан снимак овог догађаја можете погледати скенирањем QR-кода:

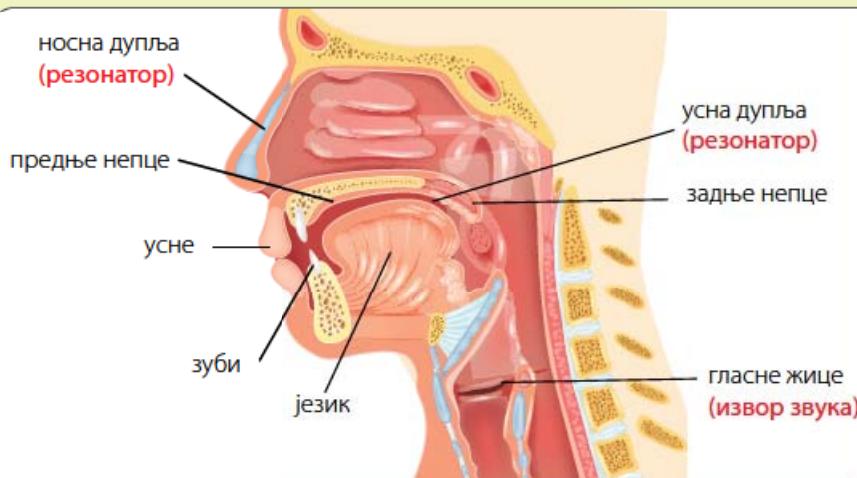


### ОГЛЕД

**ЗВУК ВАЗДУШНОГ СТУБА:** За демонстрацију ваздушног стуба узмите стаклену цев или ПВЦ цев са једним затвореним крајем. Дувањем ваздуха преко отвореног краја цеви, можете да произведете звук. Ако можете, покушајте овај оглед са различитим дужинама цеви и утврдите како она утиче на висину произведеног тона. На овај начин се показује како висина ваздушног стуба утиче на фреквенцију звучних таласа у затвореној цеви.



Шупљине у лобањи, усна дупља и носна шупљина, код човека имају улогу резонантне кутије која појачава звук настао вибрирањем гласних жица.



Делови главе који појачавају људски говор



Инсекти имају егзоскелет, спољашњи скелет који окружује унутрашње органе и ткива. Занимљиво је како инсекти који лете изводе покrete крилима. Већина таквих инсеката нема мишиће који су директно повезани са крилима. Крила су закачена за труп, а мишићи се налазе унутар трупа. Скупљају и шире труп (практично осцилују), а као резултат тих покрета крила – почињу да се крећу. Фреквенција осциловања мишића је тачно једнака фреквенцији осциловања крила. Овај резонантни ефекат је важан зато што се тако постижу највеће амплитуде, и покретање крила је најефикасније.



- Шта звучни талас изазива у нашем уху па можемо да чујемо звук?
- Који тонови имају највећу таласну дужину?
- Два звучна таласа исте таласне дужине се простиру кроз ваздух. Један има већу амплитуду осцилација. Који талас има већу јачину звука?
- Да ли се звук преноси кроз вакуум? Објасните.



## САЖЕТАК

- **Периодично кретање** је кретање које се понавља на исти начин у једнаким временским размацима.
- **Осцилаторно кретање** је периодично кретање тела око свог равнотежног положаја.
- **Амплитуда (A)** је највеће растојање од равнотежног положаја које тело достигне током осциловања.
- **Период осциловања (T)** је време за које се изврши једна цела осцилација.
- Период осциловања тела које за време  $t$  направи  $n$  осцилација израчунава се по формулама:  $T = \frac{t}{n}$ .
- Број осцилација у једној секунди назива се **фrekвенција осциловања ( $\nu$ )**. Мерна јединица за фrekвенцију је **херц (Hz)**.
- Фrekвенција је повезана са периодом осциловања:  $\nu = \frac{1}{T}$ .
- **Математичко клатно** је модел клатна које се састоји од масивне куглице окачене о дугачки неистегљив конац и које осцилује без трења.
- Период осциловања математичког клатна зависи само од дужине клатна и убрзања Земљине теже:  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ .
- **Слободне осцилације** су оне осцилације код којих су занемарени трење и отпор средине, односно, при којима се амплитуда не мења током времена. Код таквих осцилација укупна механичка енергија је константна.
- **Механички талас** је процес преношења осцилација с једне честице на суседне честице средине.
- **Трансверзални таласи** су таласи код којих честице осцилују нормално на правац простирања таласа.
- **Лонгитудинални таласи** су таласи код којих честице осцилују дуж правца простирања таласа.
- **Таласна дужина** је растојање између два суседна максимума или минимума таласа, или било које две најближе честице које су у фази, тј. осцилују на исти начин.
- **Фrekвенција таласа** једнака је фrekвенцији осциловања честица које чине талас.
- **Брзина таласа** означава брзину простирања таласа, односно брзину којом се осцилације преносе од једне до друге честице средине:  $v = \frac{\lambda}{T}$ .
- На основу везе фrekвенције таласа и периода, **брзина таласа** се може израчунати и из израза:  $v = \lambda \cdot \nu$ .
- **Звук** је талас којим се поремећаји у густини честица преносе кроз средину. Звук се не простира кроз вакуум.
- Брзина звука у ваздуху, на собној температури, износи око  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
- **Резонантна фrekвенција** је фrekвенција принудне сile на којој осцилатор осцилује са највећом амплитудом.



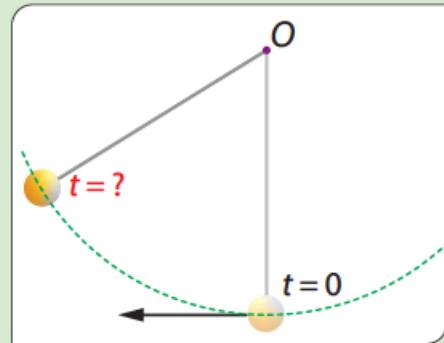
## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Која се мерна јединица користи за фреквенцију таласа?
2. У каквом су односу фреквенција и период осциловања?
3. Колико пута кратко прође кроз равнотежни положај за време једног периода?
4. Од чега све зависи период осциловања математичког кратка?
5. У ком положају осцилатор има највећу кинетичку енергију, а у ком највећу потенцијалну енергију?
6. Због чега се љуљашка пуштена да осцилује и препуштена сама себи, на крају увек заустави?
7. Да ли је самостално љуљање детета на љуљашци добар пример слободних осцилација? Објасни.
8. Која су два основна типа таласа?
9. Који тонови имају највећу таласну дужину?
10. Да ли се звук преноси кроз вакуум? Објасните.
11. Која се физичка величина мења при слободним осцилацијама математичког кратка? Заокружи слово испред тачног одговора.  
a) амплитуда      b) маса      c) период      d) убрзање
12. Тело окачено о опругу осцилује вертикално. Шта се не мења током кретања?  
Заокружи слово испред тачног одговора.  
a) смер      b) правец      c) брзина      d) убрзање
13. Колики је период окретања мале казаљке на часовнику?  
Заокружи слово испред тачног одговора.  
a) 24 h      b) 12 h      c) 1 h      d) 1 min
14. Куглица је окачена о нит и пуштена да слободно осцилује. Када је убрзање куглице најмање? Заокружи слово испред тачног одговора.  
a) Када је куглица у равнотежном положају.  
b) Када се куглица креће од равнотежног положаја, и повећава висину.  
c) Када се куглица креће ка равнотежном положају, и смањује висину.  
d) Када је брзина куглице једнака нули.
15. Тело је причвршћено на крај еластичне опруге и пуштено је да слободно осцилује на хоризонталној глаткој подлози. Амплитуда осциловања тела је A. Колики пут пређе тело за време трајања једне осцилације?  
Заокружи слово испред тачног одговора.  
a) 1 A      b) 2 A      c) 4 A      d) 8 A

16. Период математичког клатна је  $T$ . У тренутку  $t = 0$  клатно пролази кроз равнотежни положај. У ком од понуђених тренутака ће тело бити најдаље од равнотежног положаја?

Заокружи слово испред тачног одговора.

- a)  $t = 0,5 T$       b)  $t = 0,75 T$   
c)  $t = T$       d)  $t = 1,5 T$



17. Период осцилација клатна је  $T$ . Колики ће бити период осцилација ако се дужина клатна утростручи?

Заокружи слово испред тачног одговора.

- a)  $\frac{1}{3}T$       b)  $\frac{1}{\sqrt{3}}T$       c)  $T\sqrt{3}$       d)  $3T$

18. Математичко клатно дужине  $\ell$  и масе  $m$  има период  $T$ . Колики ће бити период осциловања тог клатна ако удвостручимо његову масу?

- a)  $\frac{1}{2}T$       b)  $\frac{1}{\sqrt{2}}T$       c)  $T\sqrt{2}$   
d)  $T$       e)  $2T$

19. Шта треба учинити са математичким клатном да би му се фреквенција повећала два пута? Заокружи слово испред тачног одговора.

- a) Повећати дужину клатна четири пута.  
b) Повећати дужину клатна два пута.  
c) Смањити дужину клатна два пута.  
d) Смањити дужину клатна четири пута.

20. Чему је једнака таласна дужина? Заокружи слово испред тачног одговора.

- a) Амплитуди таласа.  
b) Дужини од почетка до краја таласа.  
c) Растојању између најближих тачака које осцилују на исти начин.  
d) Растојању које пређе талас за време од једне секунде.

21. У каквом су односу фреквенција таласа и његова таласна дужина у одређеној средини? Заокружи слово испред тачног одговора.

- a) Фреквенција и таласна дужина не зависе једна од друге.  
b) Фреквенција је сразмерна таласној дужини.  
c) Фреквенција је обрнуто сразмерна таласној дужини.  
d) Фреквенција је увек једнака таласној дужини.



22. Кроз коју се од наведених средина звук не преноси?

Заокружи слово испред тачног одговора.

a) Кроз чврста тела.

б) Кроз гасове.

в) Кроз течности.

г) Кроз вакуум.

23. Колика је фреквенција звука који може да чује нормално људско уво?

Заокружи слово испред тачног одговора.

а) Мања од 10 Hz.

б) Од 1 до 100 Hz.

в) Од 5 до 4 000 Hz.

г) Од 20 до 20 000 Hz.

24. Шта је то шум? Заокружи слово испред тачног одговора.

а) Врло тих звук.

б) Звук који производи ветар.

в) Мешавина звукова различитих фреквенција.

г) Звук ниских фреквенција.

25. Шта је ултразвук? Заокружи слово испред тачног одговора.

а) Талас који се креће брже од звука.

б) Звук фреквенције преко 20 000 Hz.

в) Звучни талас који има велику таласну дужину.

г) Врло продоран звучни талас велике амплитуде.

26. Кроз коју се од наведених средина звук најбрже преноси?

Заокружи слово испред тачног одговора.

а) Кроз воду.

б) Кроз ваздух.

в) Кроз гвожђе.

г) Кроз вакуум.

27. Од чега зависи брзина звучног таласа?

Заокружи слово испред тачног одговора.

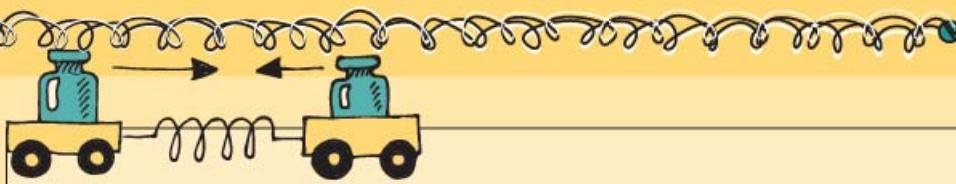
а) Од амплитуде таласа.

б) Од интензитета звука.

в) Од висине звука.

г) Од средине кроз коју талас пролази.





## ПРОЈЕКАТ – КЛАТНО

**ЦИЉ ПРОЈЕКТА:** Описивање кретања клатна. Испитивање везе између величина које описују кретање клатна.

**ТОК ПРОЈЕКТА:** Припрема за извођење огледа, мерења, обрада резултата, доношење закључака о појави.

**Материјал за рад:** кеса за лопту, лопта, конопац, хронометар.

- Ставите лопту у кесу, кесу завежите за конопац. Направите клатно, тако што други крај конопца вежете за шипку на љуљашци или за неку грану.
- Пустите да клатно осцилује и мерите време потребно да клатно направи бар 10 осцилација.
- Онда је период:  $T = \frac{t}{n}$ , где је ( $n$ ) број осцилација које је клатно направило за време ( $t$ ).
- Поновите мерење неколико пута, и резултате упишите у табелу.

Мерење	$t$ [s]	$T = \frac{t}{n}$ [s]
1.		
2.		
3.		

- Израчунајте средњи период клатна.

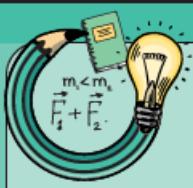
- На основу формуле за период клатна израчунајте дужину клатна.

- Измерите дужину клатна, од тачке вешања до центра лопте, и упишите резултате у табелу.

Измерена дужина $\ell$ [m]	
Израчуната дужина $\ell$ [m]	

**Закључак:**

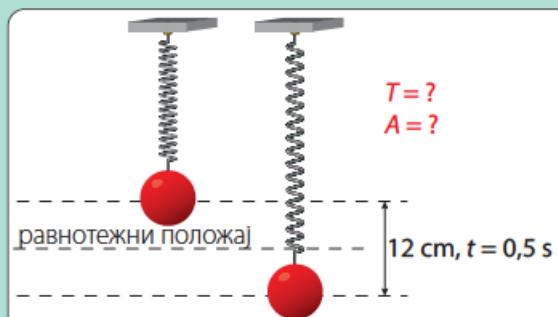
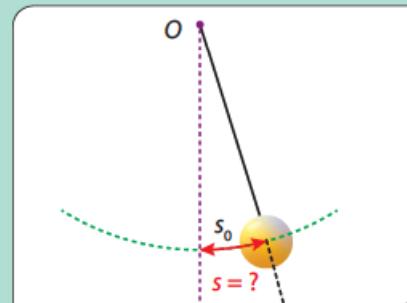
- Да ли се резултати за дужину клатна слажу? Продискутујте са осталима шта би могли да буду разлози за неслагање.
- Шта би за вас било прихватљива, а шта неприхватљива разлика у резултатима? Продискутујте са осталима.
- Поновите цео оглед за лопте различитих маса. Да ли ће периоди клатна зависити од тога коју сте лопту узели?



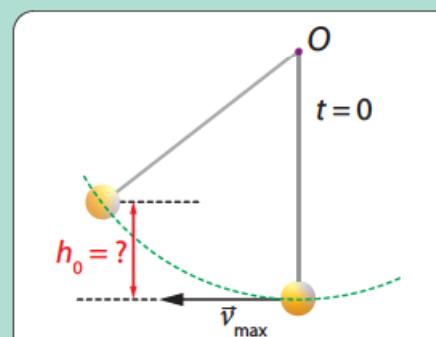
## ЗАДАЦИ

**НАПОМЕНА:** Приликом решавања задатака за убрзање Земљине теже (гравитационо убрзање Земље) узимати вредност  $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

- Колики је период осциловања куглице која изврши 2 осцилације у секунди?
- Куглица окачена о опругу осцилује вертикално горе-доле. Ако је период осциловања 8 s одредите фреквенцију осциловања.
- Опруга осцилује са фреквенцијом 4 Hz. Одредите период осциловања.
- Математичко клатно направи 54 осцилација за 18 секунди. Колики су период и фреквенција осциловања клатна?
- Елиса хеликоптера за две секунде направи 50 обртаја. Колики је период и фреквенција обртања елисе ?
- Одредите период и фреквенцију осциловања мале и велике казаљке часовника. Која казаљка има већи период и колико пута? Која казаљка има већу фреквенцију и колико пута?
- Клатно је изведено из равнотежног положаја (види слику) тако да је почетно растојање мерење дуж кружног лука  $s_0 = 5 \text{ cm}$ . Колики пут пређе куглица током 5 пуних осцилација?
- Куглица математичког клатна је током 5 осцилација прешла пут од 160 cm. Колико је највеће растојање куглице од равнотежног положаја мерење дуж кружног лука (види слику за претходни задатак)?
- Куглица окачена о опругу осцилује вертикално горе-доле. Растојање од највишег до најнижег положаја је 12 cm. Ово растојање куглица пређе за пола секунде. Одредите колики су период осциловања и амплитуда.
- Одредите период осциловања математичког клатна дужине 2,5 m.
- Одредите период осциловања математичког клатна дужине 25 cm. Зашто се математичко клатно, приближно ове дужине зове секундно клатно?
- Колики је период осциловања математичког клатна дужине 1 m на Месецу? Гравитационо убрзање на површини Месеца је приближно шест пута мање него на Земљи. Колики је период истог овог клатна на површини Земље?



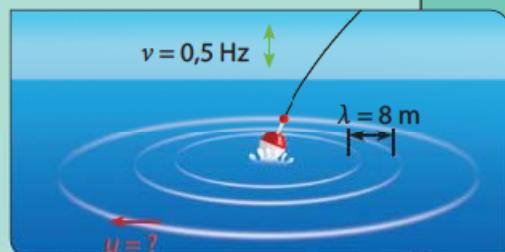
13. Математичко клатно дужине 1 m слободно осцилује око равнотежног положаја. Колико времена је потребно да клатно изврши 100 пуних осцилација?
14. Дужина математичког клатна је 15 m. Колика је фреквенција осциловања?
15. Математичко клатно дужине 2 m осцилује на Марсу са периодом осциловања од 4,6 s. Колико је гравитационо убрзање на Марсу?
16. Математичко клатно дужине 2 m има период осциловања 2,8 s. Колики је период осциловања математичког клатна дужине 8 m? Задатак решите без коришћења гравитационог убрзања.
17. Куглица, окачена о танак и неистегљив канап изведена је из равнотежног положаја, тако да се налази на висини 7,2 cm у односу на равнотежни положај. Куглица се пусти да слободно осцилује око равнотежног положаја. Коликом брзином куглица пролази кроз равнотежни положај?
18. Клатно са металном куглицом пролази кроз равнотежни положај брзином  $0,8 \frac{m}{s}$  (види слику). Коју максималну висину достиже куглица у односу на равнотежни положај?



19. Талас фреквенције 12 Hz простире се кроз канап брзином  $3 \frac{m}{s}$ . Колика је таласна дужина?
20. Ако посматрамо површину таласа не једном месту видимо да се она креће горе-доле осцилујући тако да у две секунде направи једну пуну осцилацију, док се талас креће брзином  $4 \frac{m}{s}$ . Колика је таласна дужина таласа?
21. Растојање између два суседна брега таласа је 0,5 m. Талас се креће брзином  $3 \frac{m}{s}$ . Колика је фреквенција таласа?
22. Жица осцилује са фреквенцијом 150 Hz. Ако је таласна дужина таласа на жици 120 cm, одредите брзину простирања таласа.
23. Брзина простирања таласа је  $7\ 200 \frac{km}{h}$ , а фреквенција је 250 Hz. Колика је таласна дужина?
24. Фреквенција звучног таласа је 170 Hz. Брзина звука у ваздуху је  $340 \frac{m}{s}$ . Колика је таласна дужина овог таласа?
25. Колика је фреквенција таласа, таласне дужине 25 m и брзине  $3\ 500 \frac{m}{s}$ ?
26. Колика је фреквенција таласа таласне дужине 75 cm, ако је брзина простирања таласа  $500 \frac{m}{s}$ ?



27. Извор еmitује таласе фреквенције  $500 \text{ Hz}$  и таласне дужине  $0,1 \text{ m}$ . Колико је времена потребно таквом таласу да пређе растојање од  $2\,000 \text{ m}$ ?
28. Таласна дужина таласа на површини језера је  $0,36 \text{ m}$ , а период је  $0,3 \text{ s}$ . Колика је брзина таласа?
29. Колика је фреквенција океанских таласа брзине  $18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , висине  $2 \text{ m}$  и таласне дужине  $50 \text{ m}$ ?
30. Таласи померају чамац горе-доле с периодом од  $2,5 \text{ s}$ . Одредите таласну дужину морских таласа ако је њихова брзина простирања  $2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .
31. Риба која је загризла удицу изазива осциловање пловка горе-доле, фреквенцијом  $0,5 \text{ Hz}$ .  
Пловак изазива таласе на површини језера.  
Растојање између два најближа брега таласа износи  $8 \text{ m}$ .  
Колика је брзина простирања таласа?



32. На површини воде се формирају таласи таласне дужине  $5 \text{ cm}$  и фреквенције  $30 \text{ Hz}$ . Колика је брзина таласа? Одредите таласну дужину ако се фреквенција таласа повећа двоструко.
33. Колика је фреквенција звучне виљушке чији је период осциловања  $0,00005 \text{ s}$ ?
34. Ако се инфразвук простире истом брзином као и звук ( $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ), колика је таласна дужина инфразвука фреквенције  $2 \text{ Hz}$ ?
35. Пиштаљка производи звук фреквенције  $1\,360 \text{ Hz}$ . Ако знамо да је брзина звука у ваздуху  $340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , колика је таласна дужина произведеног звучног таласа?
36. Колика је таласна дужина звучног сигнала фреквенције  $1\,500 \text{ Hz}$  који се простире кроз ваздух?
37. Треперење крила пчеле производи звук фреквенције  $250 \text{ Hz}$ . Одредите колико пута пчела замахне крилима у току  $10 \text{ sekundi}$ . Колика је таласна дужина звучних таласа у ваздуху које производе крила пчела?
38. Од тренутка кад се види блесак муње до тренутка кад се чује громљавина протекло је  $10 \text{ s}$ . Одредите удаљеност до места на коме је севнула муња?

39. За мерење дубине може да се користи уређај који се назива сонар. Са брода је емитован звучни сигнал који је упућен према дну језера. Од тренутка емитовања звука до пријема одбијеног сигнала од дна језера протекло је  $1,2 \text{ s}$ . Колика је дубина језера?

Брзина звука у води је  $1\,500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

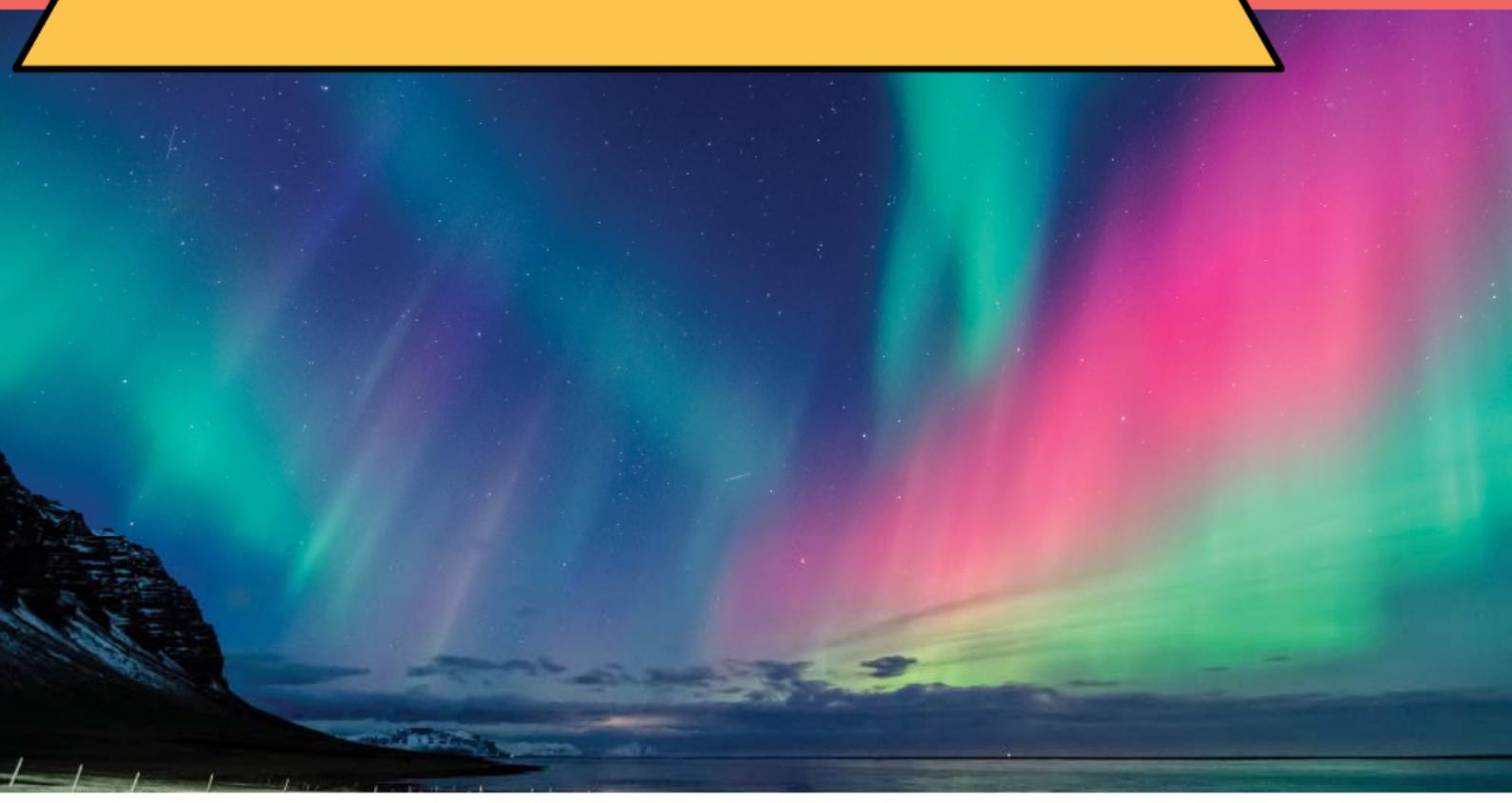


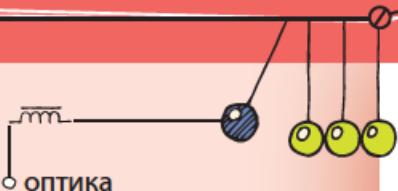
# СВЕТЛОСНЕ ПОЈАВЕ

Свет око нас упознајемо уз помоћ наших чула. На основу онога што осетимо, чујемо и видимо, стичемо представу о стварима које нас окружују. Све што видимо, видимо зато што је светлост прошла кроз неки предмет или се одбила од његове површи.

Да бисмо знали зашто ствари изгледају онакве каквим их видимо, потребно је да боље разумемо шта је светлост, како се простира и шта се дешава када светлост нађе на препреку.

Разумевање природе светлости и њеног простирања омогућило је конструкцију моћних оптичких инструмената. Микроскоп нам је отворио прозор у микросвет, док је телескоп омогућио огроман број открића у свемиру. Ипак, све то не би било значајно да не постоји савршен, природни оптички инструмент – око.





- оптика
- светлосни извори
- топлотни светлосни извори
- хладни светлосни извори
- прозирна тела
- непровидна тела

# УВОД У СВЕТЛОСНЕ ПОЈАВЕ

Област физике у оквиру које се проучавају светлосне појаве називамо **оптика**. За сада ћемо проучавати само светлосне појаве код којих се светлост простира праволинијски. У таквим појавама, кретање светлости представљамо светлосним зраком. Простирање зрака светлости може се објаснити уз помоћ геометрије. Због тога се ова област оптике назива геометријска оптика.

Тела која емитују светлост називају се **светлосним изворима**. Извори светлости су најчешће врло загрејана тела. Такви извори светлости су **топлотни**, односно **термички извори**. У ту групу спадају Сунце, усијани метали (на пример, усијана жица од волфрама у сијалицама), пламен...



• Топлотни извори светлости



Неки извори светлости (као што су ЛЕД сијалице и неонске цеви) емитују светлост иако нису много загрејани. То су **хладни извори светлости**. Неке врсте инсеката (свици) и риба (на пример „морски ђаво“) такође, могу да емитују светлост.



• Природни хладни извори светлости : а) риба ђаво, б) свитац



• Месец одбија светлост

На пример, температура влакна сијалице износи приближно  $3\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , док је температура на површини Сунца око  $6\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура ЛЕД сијалица је само мало виша од собне температуре.

Изворе видљиве светлости, наравно, видимо. Поред њих, видљива су и тела која одбијају видљиву светлост. На пример, Месец не емитује светлост, али се од њега одбија Сунчева светлост.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Светлост коју човек може да види називамо **видљива светлост**. Неке животиње, међутим, виде понешто од онога што човек не може. Светлост већих фреквенција (мањих таласних дужина) од оних које човек може да види (ултравибичаста) видљива је потпуно или као сјај за: лептире, ирвасе, птице из породице модроврана, пчеле, црвене лососе и јежеве. Лептири су, по свему судећи, бића која виде најшири опсег светлости. Њима, сигурно, овај наш свет изгледа прилично другачије.

С друге стране, светлост мањих фреквенција од видљиве (**инфра-црвена**), видљива је за: змије, жабе, комарце, стенице и неке врсте риба. Ноћне камере, на пример, претварају инфрацрвену светлост у слику коју наше око може да види.

Тела се различито понашају кад светлост пада на њих. Кроз стакло, на пример, можемо да видимо објекте који се налазе с друге стране. Стакло је провидно.

Кроз танак папир пролази светлост, али се кроз њега ништа не види. Слично је и са неким тканинама: пропуштају светлост, али се кроз њих не види ништа јасно, па су згодне за израду завеса за прозоре. За оваква тела кажемо да су прозирна.

Конечно, постоје тела која су непровидна и кроз која светлост не може да прође. Непровидна тела одбијају или упијају светлост која до њих дође.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Од тога како неки предмет упија или одбија светлост, зависи како ћемо га видети и које је боје, али о томе ћеш детаљније учити у средњој школи.



- Зашто видимо Месец иако он не еmitује светлост?
- Шта су прозирна тела, а шта непровидна тела?
- Пронађите примере за хладне изворе светлости који нису поменути у тексту.
- Пронађите примере за топлотне изворе светлости који нису поменути у тексту.
- Зашто светлост не може да прође кроз непровидна тела?



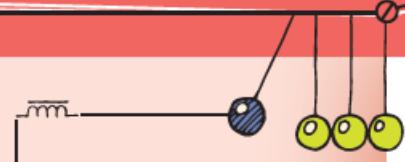
### САЗНАЈ ВИШЕ

Холандски математичар, астроном и физичар **Кристијан Хајгенс** (1629–1695, Xar) тврдио је да се светлост састоји од таласа, и да свака честица погођена таласом – постаје извор новог таласа.

Конструисао је сат с клатном и цепни сат. Открио је Сатурнов месец Титан, проучавао је Сатурнове прстенове и детаљно је описао маглину Орион. Дао је и велики допринос развоју математике.



Кристијан Хајгенс



- оптичка средина
- светлосни зрак
- тачкасти извор светlostи
- сенка
- полусенка

### ПОДСЕЋАЊЕ

**Хомогена** је она средина чија су својства иста у свим тачкама.



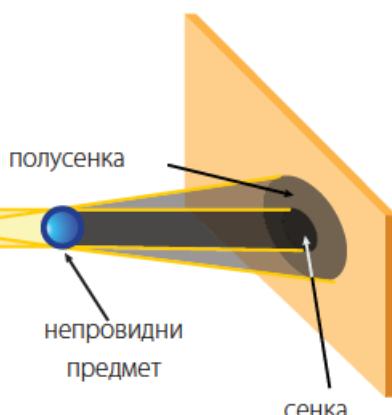
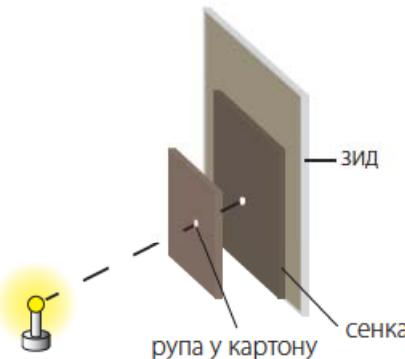
### ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** стона лампа, картон

**ОПИС РАДА:** На картону пробушите малу рупу. Укључите сијалицу, и картон са рупом поставите између лампе и зида.

**ОПАЖАЊЕ:** На зиду ћете видети светлу тачку коју ствара сноп светlostи који је прошао кроз рупу. Ако померате картон, видећете да ће се и светла тачка померати. Ако пажљиво посматрате, видећете да су светла тачка на зиду, рупа у картону и сијалица – увек дуж истог правца. То је последица чињенице да се светlost простира праволинијски.

Померањем картона показујемо да се светлосни зраци простиру у свим правцима.



Сенка и полусенка

Када будемо разматрали изворе светlostи, најчешће ће бити реч о тачкастом извору светlostи. **Тачкасти извор светlostи** је извор чија је величина много мања од величине предмета који осветљава или се налази на великој удаљености од предмета.

Тела на која пада светlost нису подједнако осветљена са свих страна. Потпуно су осветљена само са оне стране која је окренута ка извору светlostи. Постоји светlost не може да заobiђе тело, јер се простира праволинијски, иза осветљених непровидних предмета јавља се **сенка**. Ако се за извор светlostи не може рећи да је тачкаст, онда ивица сенке није оштра линија и јавља се и **полусенка**.

Постојање сенке и полусенке последица је праволинијског простирања светlostи.

Када бисмо стајали у полусенци коју ствара неки непровидан предмет, видели бисмо само део извора светлости. У сенци не бисмо видели ни делић извора.

Сунце осветљава сва тела у Сунчевом систему, па се иза њих јављају сенка и полусенка. Земља је довољно велика и Месец је довољно близу Земље да понекад може потпуно да буде покрiven Земљином сенком. Тада се догађа **помрачење Месеца**. Помрачење може бити потпуно или делимично, у зависности од тога да ли је Месец потпуно или делимично ушао у Земљину сенку.

С друге стране, и Месец прави сенку, али због тога што је мањи од Земље, сенка покрива само део Земљине површине. Гледајући са места које је у Месечевој сенци, Сунце је потпуно покривено. Ова појава се назива **помрачење Сунца**.

Приликом помрачења Сунца, положај Земље, Месеца и Сунца некад може бити такав да постоји само полусенка, то јест, тада нема тоталног помрачења.

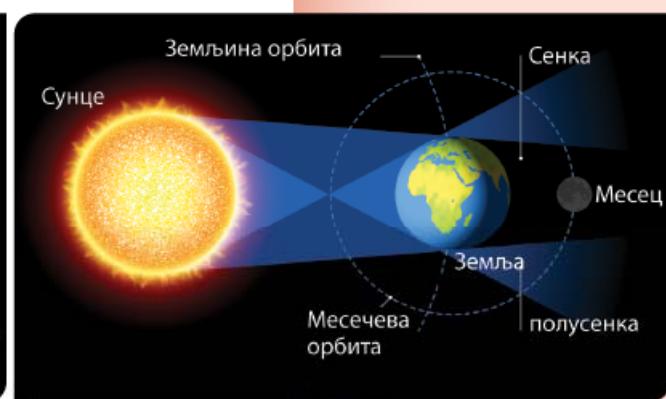


Из географије сте учили да се Месец креће око Земље у равни која је мало нагнута у односу на раван у којој се Земља креће око Сунца. Због тога су помрачења ретка појава и не дешавају се баш сваког месеца.

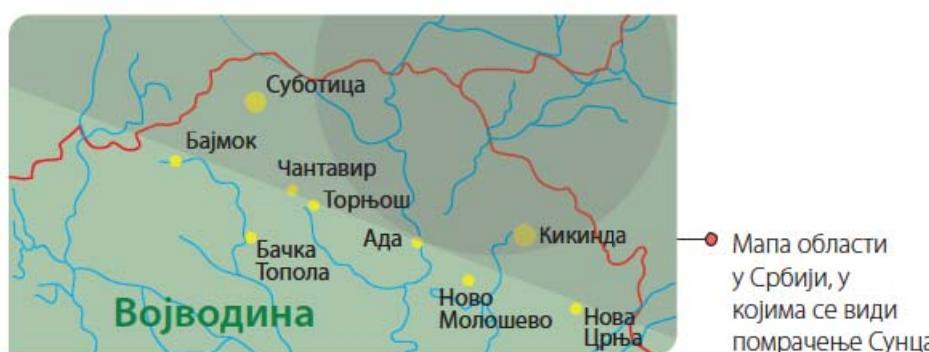
Ипак, кретање и међусобни положај Сунца, Земље и Месеца детаљно су проучени и познати: могу се предвидети датуми помрачења Сунца и Месеца, као и када су се помрачења дешавала у прошлости.



• Помрачење Сунца



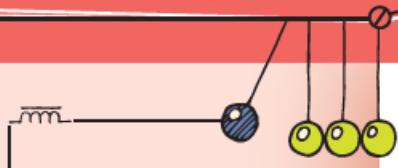
• Помрачење Месеца



• Мапа области у Србији, у којима се види помрачење Сунца

- Како се простира светлост у оптички хомогеним срединама?
- Да ли неко тело истовремено може да има више сенки? Објасни.
- Да ли неко тело може да има само полусенку, а да нема сенку? Објасни.
- Зашто настаје помрачење Сунца, а зашто Месеца?
- Да ли исти извор може некада да се посматра као тачкаст, а у некој другој ситуацији мора да се узме у обзир његова величина? Објасни.





- упадни зрак
- одбојни зрак
- упадни угао
- одбојни угао
- огледалско одбијање
- дифузно одбијање

# ОДБИЈАЊЕ СВЕТЛОСТИ

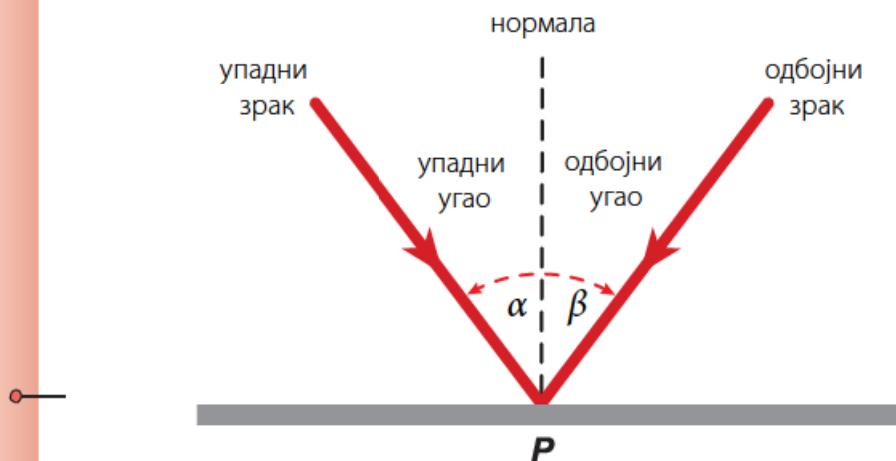
Када светлост, која се простире праволинијски, нађе на неку препреку, она се, или одбије од граничне површи препреке, или настави да се простире кроз препреку. Најчешће се један део светлости одбије, а други део прође кроз препреку.

Како ће се светлосни зрак одбити од граничне површи, зависи од тога под којим углом светлосни зрак пада на површ, као и од тога да ли је површ равна или неравна (храпава). Такође, који ће бити правац светлосног зрака који пролази кроз препреку – зависи од материјала од кога је препрека.

Зрак који пада на граничну површ назива се **упадним зраком**, а зрак који се одбија од ње назива се **одбојним (одбијеним) зраком**.

Да би се одредио правац одбијеног светлосног зрака, у тачку на површи коју је упадни зрак погодио поставља се нормала на површ. Угао између упадног зрака и нормале назива се **упадни угао**, а обележава се грчким словом алфа ( $\alpha$ ); угао између одбојног (одбијеног) зрака и нормале јесте **одбојни угао**, а обележава се грчким словом бета ( $\beta$ ).

Одбијање светлости  
од равне површи



## Закон одбијања светлости:

- упадни угао једнак је одбојном углу ( $\alpha = \beta$ );
- упадни зрак, нормала и одбојни зрак леже у истој равни;
- та раван је нормална на површ од које се зрак одбија.

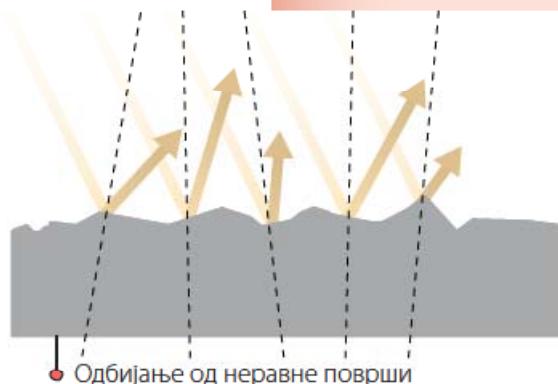
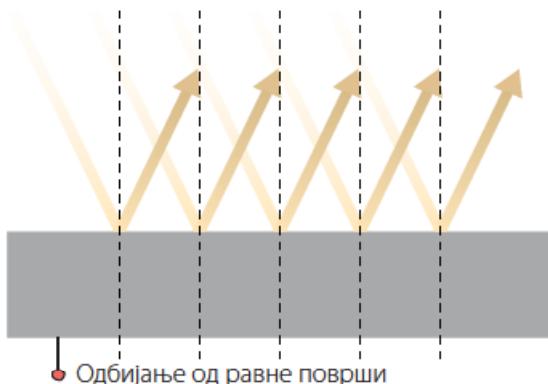
Обрати пажњу на то да се зрак који пада нормално на граничну површ одбија и враћа дуж истог правца.

У случају када се сноп паралелних зрака одбија од равне површи, и одбојни зраци ће бити међусобно паралелни. Овакво одбијање назива се **огледалско одбијање**.

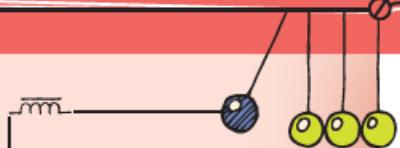
У случају када се спон паралелних зрака одбија од неравне површи, одбијаће се у различитим правцима. Тада кажемо да се светлост расипа. Овакво одбијање назива се **дифузно одбијање**.

Мада на први поглед не изгледа тако, закон одбијања светлости важи и у случају **дифузног одбијања**. Ако је површ неравна, онда су нормале у различитим тачкама дуж различитих праваца.

С друге стране, због неравнице, иако упадни спон садржи паралелне зраке, упадни угао зрака може да се мења од тачке до тачке на неравној површи, а самим тим су онда и одбојни углови различити. Пошто ниједна површ није идеално равна, један део светлости увек се одбија дифузно. Дифузна светлост пријатнија је за очи. Она је добра за читање и писање.



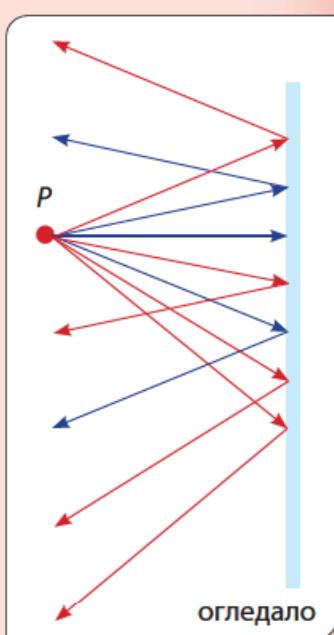
- Шта је упадни угао, а шта одбојни угао?
- Какав је однос упадног зрака, нормале и одбојног зрака?
- Када се зрак светлости одбија од огледала у каквом односу су упадни и одбојни угао?
- Каква је разлика између одбијања светлости од равног огледала и дифузног одбијања?
- Да ли при дифузном одбијању светлости важи закон одбијања? Објасни.



- равно огледало
- лик
- имагинаран лик
- реалан лик



- Упадне зраке одбијају:  
а) огледало и б) вода



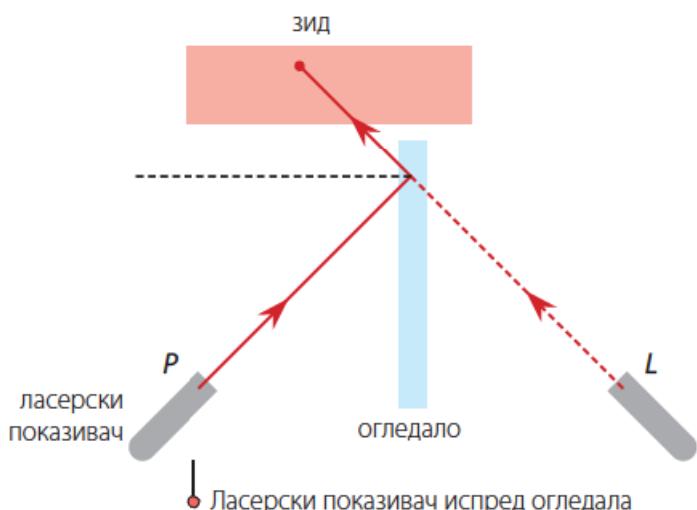
Одбијање зрака од равног огледала



# РАВНА ОГЛЕДАЛА

Свака равна површ која одбија добар део упадних зрака може да буде **равно огледало** (мирна површина воде, леда, стакла, метала...). Што више површ одбија светlostи, то је лик у огледалу јаснији. Равна огледала која користимо најчешће се израђују од стакла, уз премаз од сребра. Површ огледала треба да буде потпуно равна и што боље углачана. Кроз непровидну површ огледала светлосни зраци не могу да прођу, а ипак изгледа као да се наш лик, или лик било којег предмета који поставимо испред, налази иза огледала. Како настаје слика иза огледала?

Ласерским показивачем усмеримо зрак светlostи на равно огледало, тако да он пада под неким углом у односу на нормалу. Светлу тачку можемо да видимо на зиду. Зрак се одбио од површи огледала. Исту светлу тачку дао би показивач који би се налазио на месту иза огледала, на линији у продужетку одбијеног зрака. Нека је тачкасти извор светlostи у ласерском показивачу **предмет (P)**. Онда ћемо слику у огледалу тачкастог извора назвати **лик (L)**.



## КОНСТРУКЦИЈА ЛИКА КОД РАВНОГ ОГЛЕДАЛА

Да бисмо видели где се тачно формира лик код равног огледала, потребан нам је мало сложенији оглед:

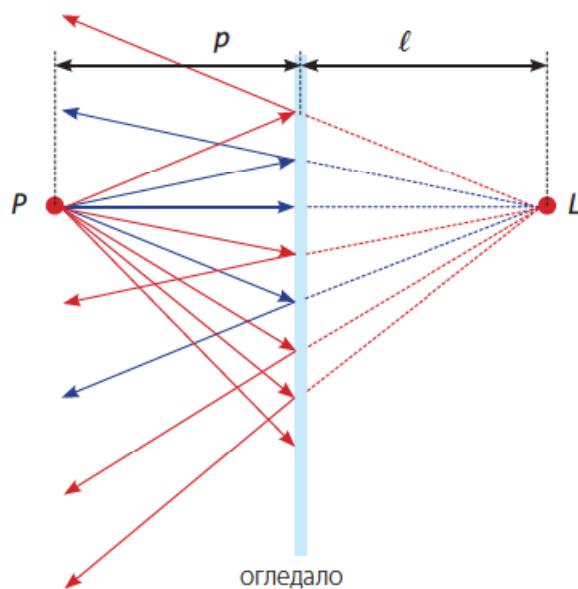
- Поставимо малу сијалицу испред огледала. Огледало је равно и добро углачено, и сва светlost се одбија од његове површи. Сијалица емитује светlost подједнако у свим правцима.
- Изабраћемо само неколико зрака који се од сијалице простире ка огледалу.

Лик сијалице треба да буде у тачки у којој се секу правци одбијених зрака. То не може да буде са исте стране огледала са које је и сијалица, пошто се одбијени зраци расипају.



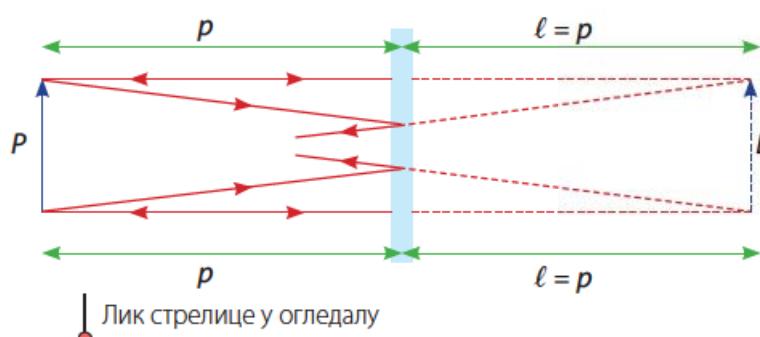
Ако продужимо све приказане одбијене зраке са друге стране огледала, испоставиће се да се они секу у истој тачки. Управо у тој тачки се налази лик сијалице. Због тога што се лик налази у пресеку подужетака одбијених зрака, он је **имагинаран** (нестваран). Имагинаран је зато што наше око не разликује одбијене од директних зрака, и причињава нам се да су зраци стigli од предмета са друге стране огледала. Такође, уз помоћ мало геометрије, може се видети да је удаљеност сијалице (предмета)  $p$  – од огледала, једнако удаљености лица  $\ell$  – од огледала ( $\ell = p$ ).

Ликови који се добијају пресеком одбијених зрака називају се **реални** (стварни) ликови. О њима ћеш више сазнати у лекцијама о сферним огледалима и сочивима.



Продужетак праваца одбијених зрака иза равног огледала

Било који предмет може да се посматра као скуп тачака. Да бисмо одредили лик предмета, треба само да изаберемо неколико карактеристичних тачака. Свакој тачки одредимо лик, и из тачака ликова реконструишимо лик целог предмета. Важно је уочити да су предмет и лик симетрични у односу на огледало. Величине предмета и лица су, такође, једнаке.



Лик стрелице у огледалу

Лик стрелице у равном огледалу добија се тако што је довољно одабрати две тачке, подножје и врх стрелице. Затим се из обе тачке повуче нормала на раван огледала. У продужетку нормале, на истом растојању од огледала, нађу се ликови ове две тачке. Када се споје тачке ликова, добија се лик стрелице. Имагинарни ликови обично се цртају испрекиданим линијама.



Дакле, на основу свега претходно урађеног, можемо да закључимо:

- Предмет и његов лик у равном огледалу симетрични су и једнаки по величини.
- Растојања предмета и лица од огледала су једнака.
- Лик је имагинаран и налази се са друге стране огледала.



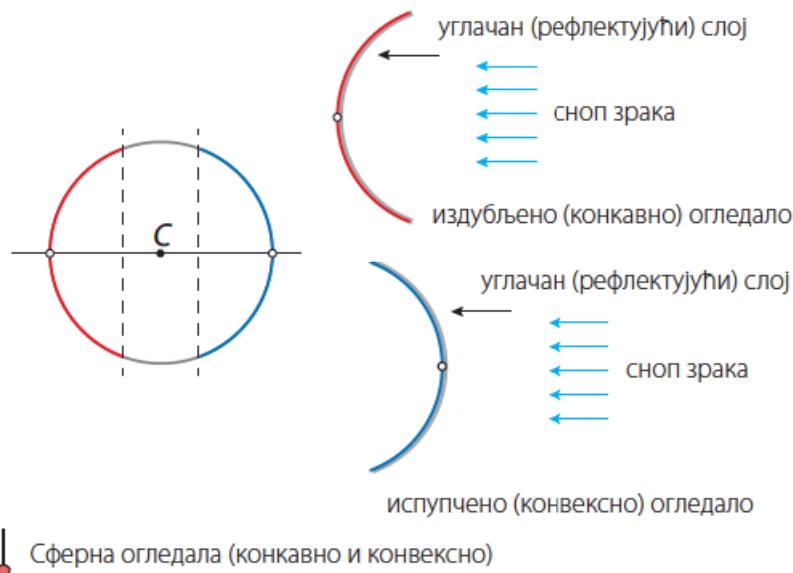
- Како то да можемо да видимо свој лик у огледалу, а не можемо га видети, на пример, на бело окрененом зиду?
- Како се назива лик који настаје пресеком продужетака одбијених зрака?
- Који је однос растојања предмета и лица од равног огледала?
- Који је однос величине предмета и лица у равном огледалу?
- Предмет се налази испред равног огледала. Предмет је нагнут ка огледалу, тако да је врх ближи огледалу, од подножја предмета. Да ли је врх лица ближи огледалу или је даљи од лица подножја?

# СФЕРНА ОГЛЕДАЛА

Огледала чије су површи закривљене – називају се крива огледала. Ако је површ огледала део површи лопте, онда такво огледало називамо **сферно огледало**.

Сферна огледала могу бити:

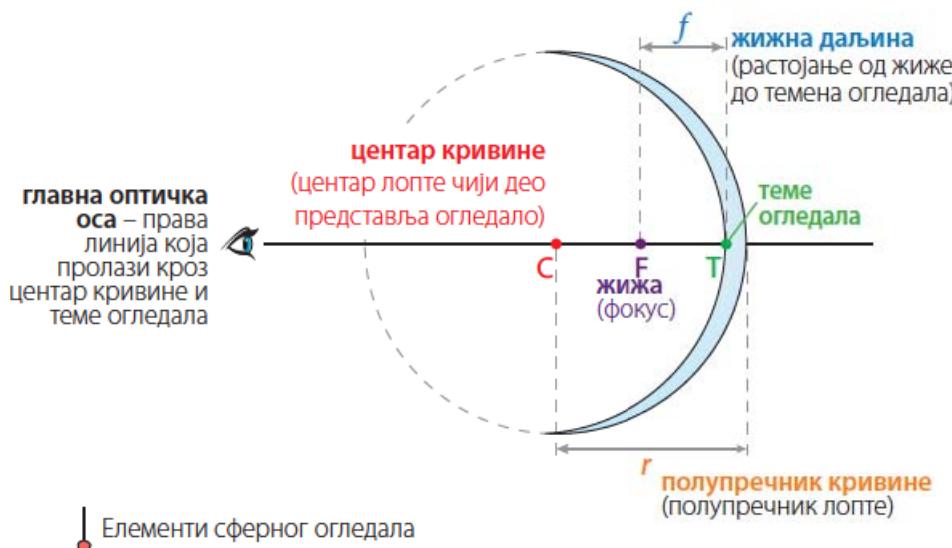
- **издубљена** (конкавна) – унутрашња површ је углачана;
- **испуцчена** (конвексна) – спољашња површ је углачана.



Сферна огледала (конкавно и конвексно)

Издубљена огледала одбијају светлост од унутрашње стране, а испупчена од спољашње.

На слици су приказани елементи сферних огледала.



Елементи сферног огледала

**Жика** се налази између центра кривине и темена огледала, на средини тог растојања.

Жижна даљина једнака је половини полупречника кривине.

$$f = \frac{r}{2}$$

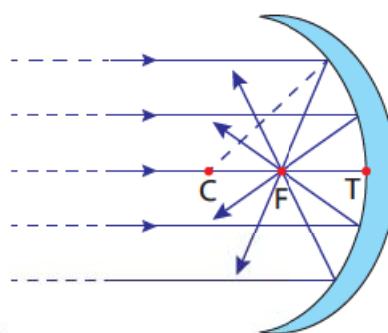


- сферна огледала
- издубљена огледала
- испупчена огледала
- главна оптичка оса
- жика
- жижна даљина

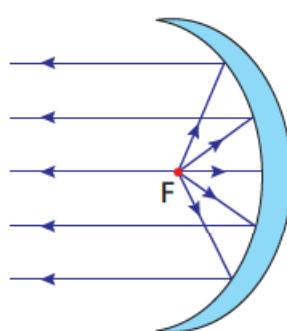
## ИЗДУБЉЕНО ОГЛЕДАЛО

Сви зраци који су паралелни с главном оптичком осом, после одбијања од издубљеног огледала, секу се у жижи, односно сакупљају се у жижи.

Ако је извор светlosti постављен у жижу издубљеног огледала, зраци се одбијају од огледала тако да су паралелни с главном оптичком осом. То својство примењује се приликом конструкције различитих врста рефлектора, светала код аутомобила, батеријских лампи, итд.



Сакупљање зрака у жижи издубљеног огледала



Извор у жижи издубљеног огледала

## ИСПУПЧЕНО ОГЛЕДАЛО

Сви зраци који су паралелни с главном оптичком осом одбијају се од испупченог огледала, као да долазе из неке тачке која се налази иза огледала, расипају се. Та тачка представља жижу испупченог огледала. Жижу испупченог огледала налази се иза огледала, односно, њу можемо посматрати као имагинарну тачку, јер се налази у пресеку одбијених зрака.

Огледала помоћу којих возачи аутомобила и мотоцикала виде предмете иза себе (ретровизори), благо су испупчена. У таквим огледалима могуће је видети већи простор иза возача – него када би она била потпуно равна.

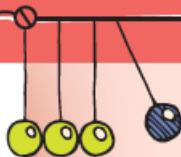


- Чему је једнака жижна даљина сферног огледала?
- Где се секу зраци који су паралелни с главном оптичком осом, после одбијања од издубљеног огледала?
- Да ли се и где секу зраци који су паралелни с главном оптичком осом, после одбијања од испупченог огледала?
- Која је разлика између жиже и жижне даљине?



Ретровизор

# КОНСТРУКЦИЈА ЛИКОВА КОД СФЕРНИХ ОГЛЕДАЛА



— карактеристични  
○ увећање огледала



ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** Кашика.

**ОПИС РАДА:** Узмите чисту кашику и поставите је испред лица. Погледајте своју слику у удубљеном и испупченом делу кашике. Приближавајте и удаљавајте кашику.

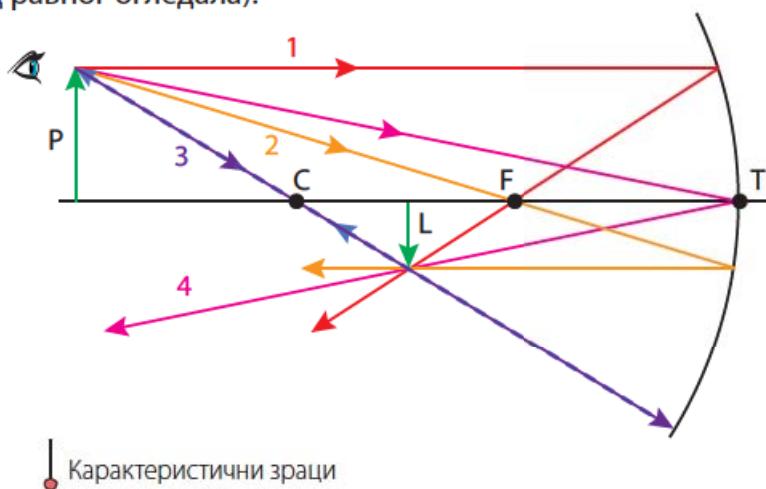
**ОПАЖАЊЕ:** Шта све можете да приметите у овом једноставном огледу? Какви су ликови? Шта се дешава са ликом док померате кашику? Да ли се нешто мења ако промените величину кашике (кафена кашичица, кутлача...)?



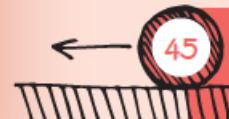
За одређивање положаја ликова код сферних огледала користе се зраци који полазе од предмета. Од свих зрака изабраћемо оне за које сигурно знамо како ће се одбити од огледала, и зваћемо их **карактеристични зраци**.

Карактеристични зраци:

- 1 – зрак паралелан с главном оптичком осом огледала, после одбијања, пролази кроз жижу;
- 2 – зрак који пролази кроз жижу, после одбијања, паралелан је са главном оптичком осом огледала (обрнуто од зрака под 1);
- 3 – зрак који пролази кроз центар кривине, враћа се после одбијања истим путем (зато што пада нормално на површ огледала, па се одбија дуж истог правца);
- 4 – зрак који пада у теме огледала, одбија се под истим углом (као од равног огледала).



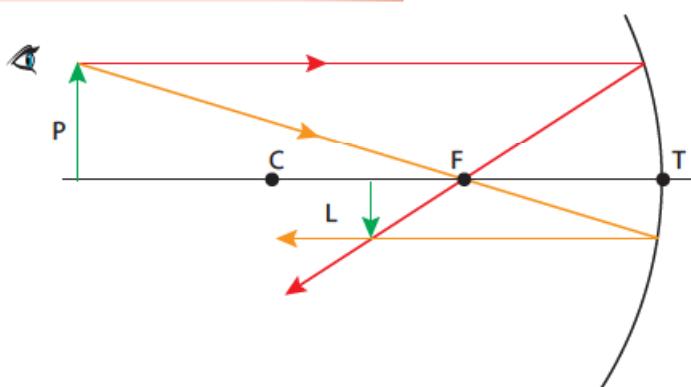
Карактеристични зраци



За предмет који се налази на главној оптичкој оси, за конструкцију лика довољно је да се користе два зрака.

Зависно од положаја предмета у односу на огледало, лик може бити:

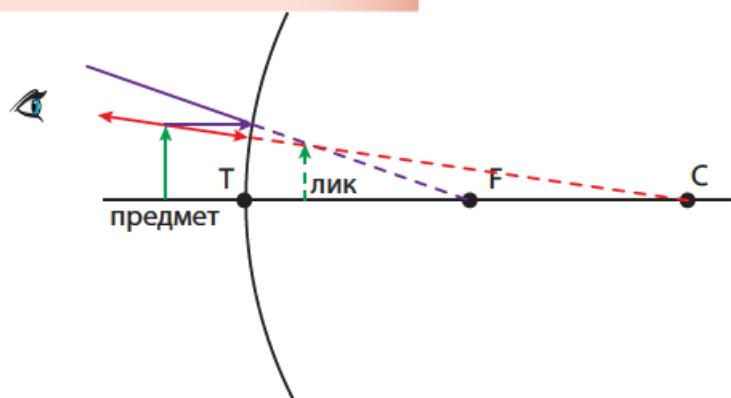
- реалан или имагинаран (стваран или нестваран);
  - реалан лик се налази у пресеку одбијених зрака;
  - имагинаран лик се налази у пресеку наставака одбијених зрака;
- усправан или обрнут;
- увећан, умањен или једнак по величини с предметом.



Ликови сферних огледала

Нека је предмет постављен испред издубљеног огледала, тако да је иза центра кривине. Предмет ћемо означити вертикалном стрелицом, која је нормална на оптичку осу. Подножје стрелице се налази на оптичкој оси, и самим тим ће и подножје лица бити на оси. Довољно је да се одреди где ће се налазити врх стрелице, пошто ће стрелица која означава лицо – бити нормална на оптичку осу. Ако искористимо карактеристичне зраке 1 и 3, у пресеку ова два зрака, после одбијања, добијамо место врха лица. Повучемо нормалу на оптичку осу и добијемо место подножја лица. Видимо да се лицо налази између центра огледала и жиже, и да је **реалан, обрнут и мањи од предмета**.

Ово је само једна од могућих ситуација. Конструкције ликова за друге положаје предмета дате су у задацима. Правила су иста, само их треба пажљиво спровести.



Конструкција лица код испупченог огледала

Правила наведена приликом конструкције лица код издубљених огледала важе и за испупчена огледала. Изаберу се карактеристични зраци који пролазе кроз врх предмета. У пресеку продужетака одбијених карактеристичних зрака налази се врх лица.

Код испупченог огледала, зраци који су паралелни с главном оптичком осом одбијају се као да долазе из жиже. Зрак који је усмерен ка центру кривине враћа се, после одбијања, истим путем назад. После одбијања од огледала, зраци се разилазе и не могу да се пресеку испред огледала. Лицо се формира у пресеку продужетака одбијених зрака.

Без обзира на то где се налази предмет у односу на испупчено огледало, његов лицо је увек **имагинаран, умањен и усправан**, и налази се између темена и жиже огледала. Што је предмет даље од огледала, лицо је мањи.

Једначина сферних огледала повезује удаљеност предмета и лика од огледала са жижном даљином огледала.

За издубљена огледала:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$$

За испупчена огледала:

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\ell}$$

$p$  – удаљеност предмета од темена огледала

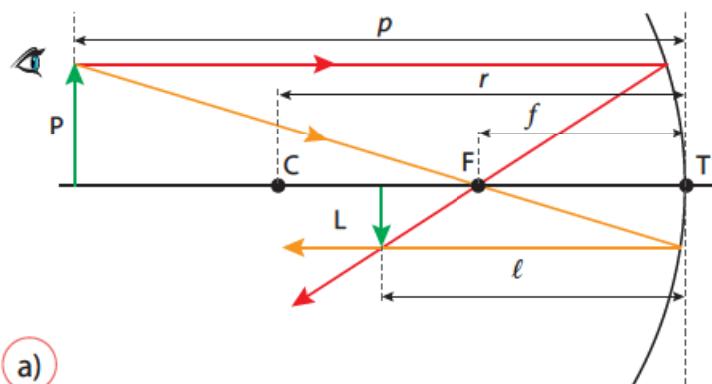
$\ell$  – удаљеност лика од темена огледала

$f$  – жижна даљина

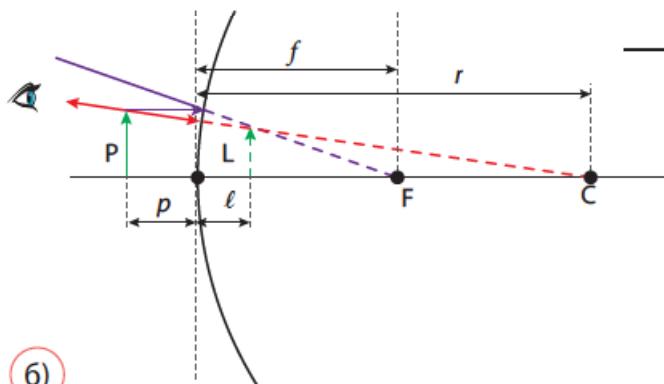
### САЗНАЈ ВИШЕ

Обрнути лик је увек стваран, а усправни је нестваран.

Код испупченог огледала, лик и жижа су имагинарни. Због тога се у једначини огледала, испред реципрочних вредности жижне даљине и даљине лика, налази знак минус.



a)



(b)

- Удаљености предмета и лика од огледала и жижна даљина код:
  - издубљеног огледала,
  - испупченог огледала

## УВЕЋАЊЕ ОГЛЕДАЛА

Ликови које стварају сферна огледала могу да буду већи, мањи или једнаки величини предмета. Физичка величина која даје однос величина лика и предмета назива се **увећање**. Увећање сферних огледала израчунава се као количник величине лика и величине предмета, односно, као количник удаљености лика и удаљености предмета од огледала:

$$u = \frac{L}{P} = \frac{\ell}{p}$$

$L$  – величина лика,

$P$  – величина предмета,

$p$  – удаљеност предмета од огледала,

$\ell$  – удаљеност лика од огледала.


**ЗАДАТАК**

Испред издубљеног огледала, на растојању од 4 см од темена огледала, налази се предмет висине 3 см.

а) Колики су: жижна даљина, полу пречник кривине и увећање огледала – ако се реалан лик налази на растојању од 6 см од темена огледала?

б) Колика је величина лика?

**ПОЗНАТЕ ВЕЛИЧИНЕ**

$$p = 4 \text{ cm}$$

$$\ell = 6 \text{ cm}$$

$$P = 3 \text{ cm}$$

$$f = ?$$

$$r = ?$$

$$u = ?$$

$$L = ?$$

**РЕШЕЊЕ**

а) Жижна даљина издубљеног огледала може да се израчуна коришћењем једначине огледала и заменом одговарајућих величина датим бројним вредностима за растојање предмета и лика од огледала:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{4 \text{ cm}} + \frac{1}{6 \text{ cm}}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3}{12 \text{ cm}} + \frac{2}{12 \text{ cm}} = \frac{5}{12 \text{ cm}}$$

$$f = 2,4 \text{ cm}$$

Пошто је жижна даљина половина полу пречника кривине  $f = \frac{r}{2}$ , онда је  $r = 2f$ , односно  $r = 4,8 \text{ cm}$ .

б) Да би смо добили висину лика, прво одредимо увећање  $u = \frac{\ell}{p}$ , односно  $u = \frac{6 \text{ cm}}{4 \text{ cm}}$ ,  $u = 1,5$ .

Висина лика се добија из друге једначине за увећање,  $u = \frac{L}{P}$ .

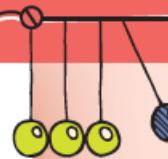
Одавде је  $L = u \cdot P$ , односно  $L = 1,5 \cdot 3 \text{ cm}$ ,  $L = 4,5 \text{ cm}$ .



- Којом путањом се крећу зраци који пролазе кроз центар кривине издубљеног огледала?
- Која својства има лик удубљеног огледала?
- Која својства има лик испупченог огледала?
- Због чега се у једначини огледала испупченог огледала испред реципрочних вредности жижне даљине и даљине лика налази знак минус.
- Чему је једнако увећање сферних огледала?

# БРЗИНА СВЕТЛОСТИ

Брзина светлости је највећа позната брзина у природи. Она је толико велика да се дуго веровало да је бесконачна. Успешно ју је измерио дански астроном Олаф Ремер тек 1676. године. Он је то учинио на основу посматрања помрачења Јупитеровог сателита Иоа.



- брзина светлости
- оптичка густина
- светлосна година

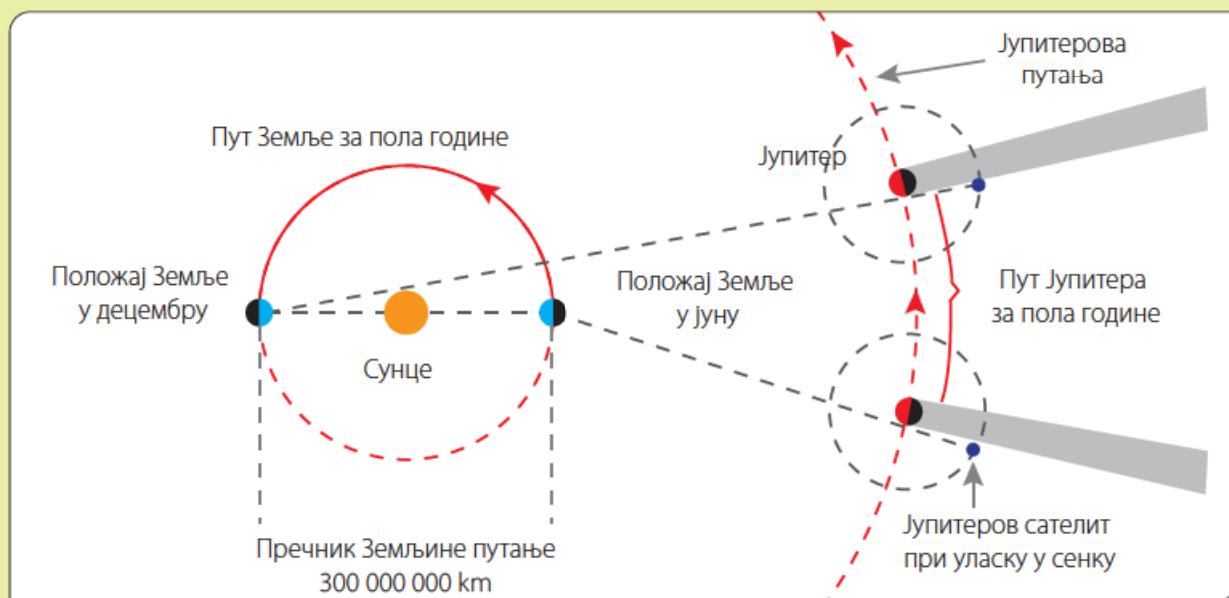


## САЗНАЈ ВИШЕ

Ако са Земље посматрамо кретање Јупитеровог сателита Иоа, с времена на време, зађе иза Јупитера, па га не видимо.

Ремер је мерио време које је потребно Иоу да прође иза Јупитера и да буде поново видљив. Прецизније речено, мерио је време трајања помрачења сателита. При томе је запазио да време зависи од тога где се Земља, у односу на Јупитер, налази у тренутку мерења. Измерио је разлику у измереном времену трајања помрачења када су Земља и Јупитер са исте стране Сунца, и када су са супротних страна. Проценио је растојање између та два положаја Земље.

Ремер је закључио да разлика у времену настаје због коначне брзине светлости која стиже са Јупитеровог сателита Ио, и да ту брзину може лако да израчуна. Када је процењено растојање поделио са измереним временом – добио је око 220 милиона километара у секунди. То је око 25% мање од данас прихваћене вредности, али његов метод био је потпуно тачан.



Данас би прецизна мерења величина које је Ремер предложио дала да је разлика у дужини трајања помрачења око 1 000 секунди. Растојање између два положаја Земље је око 300 милиона километара. А то одговара путу који светлост пређе за измерено време. Брзина светлости, која се означава малим словом  $c$ , онда је:

$$c = \frac{300\,000\,000 \text{ km}}{1000 \text{ s}} = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Касније је утврђено да брзина светлости није иста у свим срединама. Највећа је у вакууму, то јест у међупланетарном простору.

Олаф Ремер је измерио управо ту брзину.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Крајем 20. века је, у систему који се састојао од ултра-хладних (температура врло близу апсолутне нуле) атома натријума, измерена је брзина светлости од невероватних  $17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

• Покушајте да израчунате колико пута је ова брзина мања од брзине светлости у вакууму.

Брзина светлости у вакууму износи  $300\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

Брзина светлости у ваздуху је скоро иста као брзина светлости у вакууму. У другим срединама може да буде знатно мања. Што је у некој средини брзина светлости мања, та средина је **оптички гушћа**. Стакло је оптички гушће од ваздуха, а вода је оптички ређа од стакла, као што можете да видите у следећој табели.

СРЕДИНА	БРЗИНА СВЕТЛОСТИ [ $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ ]
Лед	239 000 000
Вода	225 000 000
Стакло	200 000 000
Дијамант	120 000 000

Табела 2.1. Брзина светлости у различитим срединама

### ЗАДАТAK

Колико је времена потребно да светлост са Сунца стигне до Земље? Растојање између Сунца и Земље износи приближно 150 000 000 km.

#### ПОЗНАТЕ ВЕЛИЧИНЕ

$$s = 150\,000\,000 \text{ km}$$

$$c = 300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$t = ?$$

#### РЕШЕЊЕ

На основу формуле за израчунавање времена код равномерног праволинијског кретања:  $t = \frac{s}{v}$ .

Ако је брзина једнака брзини светлости у вакууму:  $t = \frac{s}{c}$

$$t = \frac{150\,000\,000 \text{ km}}{300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}} = 500 \text{ s} = 8 \text{ min } 20 \text{ s}$$

Неку представу о растојањима у свемиру можемо да добијемо ако погледамо у следећој табели колико је светлости потребно времена да пређе нека растојања.

РАСТОЈАЊЕ	ВРЕМЕ
Земља – Месец	1,3 s
Сунце – Земља	8 min 20 s
Сунце – Нептун	5,5 h
Сунце – звезда Проксима Кентаури (једна од најближих Сунцу)	4,3 god

Табела 2.2. Удаљеност небеских тела



Тркачком аутомобилу који се креће брзином од  $200 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  требало би 750 000 сати, односно, око 86 година, да пређе пут од Земље до Сунца. Исти пут светлост пређе за само 8,3 min.

Мерне јединице за дужину (које користимо свакодневно), као што је, на пример километар, нису погодне за мерење растојања у свемиру. Због тога се, као мерна јединица за дужину, у астрономији употребљава светлосна година.

**Светлосна година** је растојање које светлост пређе за једну годину.

Једна година = 365,25 дана  $\approx 31\ 557\ 000$  s.

Једна светлосна година  $\approx 300\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot 31\ 557\ 000 \text{ s} \approx 9\ 500\ 000\ 000\ 000 \text{ km} = 9,5$  милијарди km

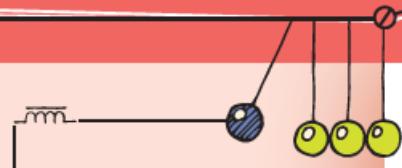
**Једна светлосна година**  $\approx 9,5$  милијарди km



• Колика је брзина светлости у вакууму?

- a)  $30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$
- б)  $3\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$
- в)  $300\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$
- г)  $300\ 000\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$

- Светлост прелази из једне средине у другу. Брзине светлости у те две средине нису исте. Која средина је оптички гушћа?
- Да ли је светлосна година мерна јединица за време или дужину?
- Колико износи једна светлосна година?



- преламање светлости
- преломни зрак
- апсолутни индекс преламања
- релативни индекс преламања

# ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ

Када у чашу с водом ставите кашичицу или оловку, изгледа као да је преломљена на место на којем улази у воду. Ако са обале гледате у плићак бистре воде, вода изгледа плиће него што стварно јесте. Да бисте боље разумели шта се догађа са светлошћу при преласку у воду, урадите следећи оглед.



Перломљена слика предмета у води

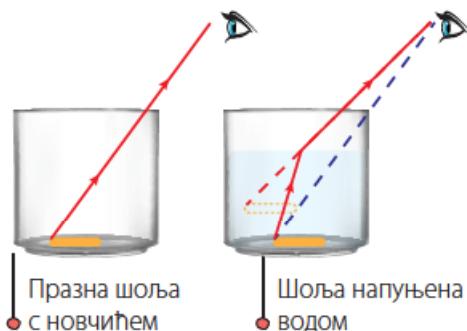


## ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** шоља с водом, новчић

**ОПИС РАДА:** У празну шољу (важно је да није провидна) ставите новчић. Поставите шољу са новчићем на сто и померајте је док не приметите само ивицу новчића на дну (новчић практично не видимо у шољи). Затим, не померајући шољу, пажљиво сипајте воду у њу, скоро до врха. Када погледате у шољу, са истог места, видећете скоро цео новчић.

**ОПАЖАЊЕ:** Покушајте да објасните шта се променило у простирању зрака светлости када сте сипали воду у шољу.



Празна шоља с новчићем

Шоља напуњена водом

Оглед показује да је новчић постао видљив, после сипања воде, зато што се светлосни зрак прелама када из воде пређе у ваздух. Ова појава се назива **преламање светлости**. Светлост прелази из средине са једном брзином светлости у средину са другом брзином, због тога се прелама, односно мења се правац простирања. До преламања светлости увек долази на граничној површи две средине различитих оптичких густина.

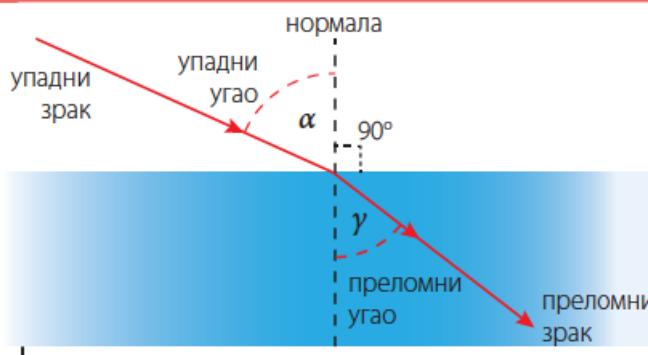
Оптичка густина нема везе са густином супстанце. Она је директно повезана са брzinom светлости кроз ту средину. У оптички гушћој средини брзина светлости је мања, него у оптички ређој.

Зрак који пада на граничну површ назива се **упадним зраком**, док је зрак који се преломи **преломни зрак**.

Угао између упадног зрака и нормале назива се **упадним углом**, и обележава се грчким словом **алфа** ( $\alpha$ ). Угао између преломног зрака и нормале назива се **преломним углом**, и обележава се често грчким словом **гама** ( $\gamma$ ).

## ПОДСЕЋАЊЕ

Упадни зрак и упадни угао објашњени су у лекцији *Одијање светлосни*.



Преламање из ређе у гушћу средину



Преламање из гушће у ређу средину

### Закон преламања светлости:

Када светлосни зрак прелази из оптички ређе у оптички гушћу средину, упадни угао већи је од преломног ( $\alpha > \gamma$ ). Тада зрак скреће ка нормали.

Када светлосни зрак прелази из оптички гушће у оптички ређу средину, упадни угао мањи је од преломног угла ( $\alpha < \gamma$ ). Тада зрак скреће од нормале.

Ако је упадни светлосни зрак нормалан на граничну површ ( $\alpha = \gamma$ ), он неће скренути.

Колико ће светлосни зрак скренuti, зависи од брзине простирања светлости у првој и другој средини. Што је већа разлика у брзинама то је скретање зрака веће. Физичка величина која је мера односа брзина простирања светлости у две средине јесте **индекс преламања**.

**Апсолутни индекс преламања** ( $n$ ) неке средине представља однос брзине светлости у вакууму и у тој средини:

$$n = \frac{c}{c_1}$$

$c$  – брзина светлости у вакууму,  
 $c_1$  – брзина светлости у средини.

Поред апсолутног индекса преламања често се користи и **релативни индекс преламања** ( $n_r$ ), који је количник брзина светлости у две средине:

$$n_r = \frac{c_1}{c_2}$$

$c_1$  – брзина светлости у првој средини,  
 $c_2$  – брзина светлости у другој средини.

СРЕДИНА	АПСОЛУТНИ ИНДЕКС ПРЕЛАМАЊА ( $n$ )
Вода	1,33
Лед	1,31
Алкохол	1,36
Стакло	1,50
Кварц	1,54
Дијамант	2,42

Табела 2.3. Апсолутни индекси преламања за неке средине



Ако је познато да је брзина простирања светлости кроз стакло  $200\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ , израчунајте апсолутни индекс преламања стакла.

#### ПОЗНАТИ ПОДАЦИ

$$c_1 = 200\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$c = 300\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$$

$$\underline{n = ?}$$

#### РЕШЕЊЕ

Заменом брзина светлости у вакууму и стаклу у формули за индекс преламања, добија се:

$$n = \frac{c}{c_1}$$

$$n = \frac{300\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}}{200\ 000 \frac{\text{km}}{\text{s}}}$$

$$n = 1,5$$

Водите рачуна о томе да је апсолутни индекс преламања карактеристика једне средине.

У примеру сте израчунали апсолутни индекс преламања за стакло. То је зато што поредимо брзину светлости у тој средини са брзином светлости у вакууму.

Релативни индекс преламања се односи на две средине. На пример, релативни индекс преламања за воду–стакло.



Зашто долази до преламања светлости?

- Светлост се прелама при преласку из једне средине у другу. Ако је упадни угао већи од преломног, која средина је оптички гушћа?
- Која средина има већи индекс преламања, оптички гушћа или оптички ређа?
- Каква је разлика између апсолутног и релативног индекса преламања?
- Светлост прелази из једне у другу оптичку средину. Познати су апсолутни индекси преламања за обе средине. Како бисте користећи апсолутне индексе преламања нашли релативни индекс преламања за ове две средине?

# ТОТАЛНА РЕФЛЕКСИЈА



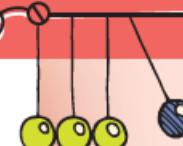
ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** Чаша воде, лазерски показивач.

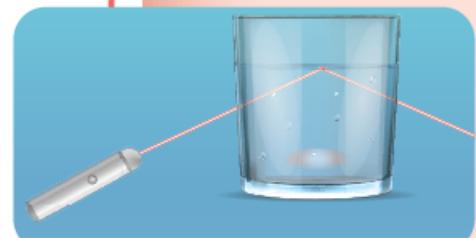
**ОПИС РАДА:** Учаши сипајте воду. Лазерским показивачем упите сноп ка граничној површи воде. Мењајте угао (пазећи да никога не буде са друге стране).

**ОПАЖАЊЕ:** За одређену вредност угла под којим лазерски сноп пада на површ – приметиће светлу тачку на подлози иза чаше!

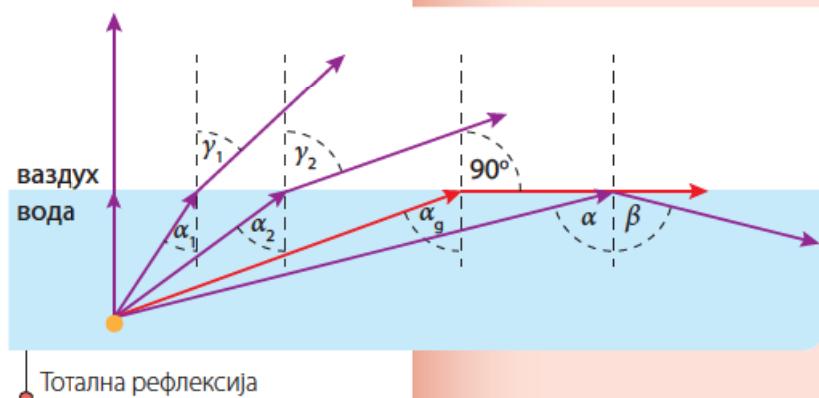
Покушајте да објасните шта се десило у овом огледу.



- тотална рефлексија
- гранични угао тоталне рефлексије



Када светлост прелази из оптички гушће у оптички ређу средину, преломни угао већи је од упадног ( $\gamma_1 > \gamma_2$ ). Ако се повећава упадни угао – повећава се и преломни угао. Када се достигне одређена вредност упадног угла ( $\alpha_g$ ), преломни угао постаје прав (једнак  $90^\circ$ ). У том случају, преломни зрак простира се по граничној површи између две средине, не прелази у оптички ређу средину.



У Табели 2.4 приказане су вредности граничног угла за неке средине.

Ако се упадни угао и даље повећава, светлосни зрак се одбија од граничне површи и враћа у оптички гушћу средину. Светлосни зрак од граничне површи одбија се као од равног огледала. Ова појава назива се **тотална рефлексија**. Упадни угао ( $\alpha_g$ ) којем одговара преломни угао од  $90^\circ$  јесте **гранични угао тоталне рефлексије**. Тотална рефлексија може да се додги само ако светлост прелази из оптички гушће у оптички ређу средину и ако је упадни угао већи од граничног угла тоталне рефлексије за те две средине.

У оптичким кабловима светлост преноси информације. Светлост не напушта кабл због тоталне рефлексије на зидовима кабла.

СРЕДИНЕ РАЗЛИЧИТЕ ГУСТИНЕ	ГРАНИЧНИ УГАО ТОТАЛНЕ РЕФЛЕКСИЈЕ
Вода – ваздух	$48,5^\circ$
Стакло – ваздух	$42^\circ$
Дијамант – ваздух	$24^\circ$

Табела 2.4. Гранични угао за неке средине



Светлосни зрак у оптичком каблу

## САЗНАЈ ВИШЕ

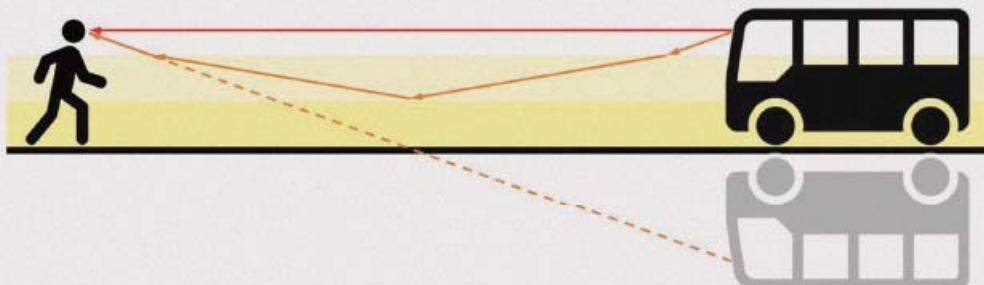


Током врелих летњих дана на асфалту, понекад можемо да уочимо обрнуте ликове удаљених аутомобила или објеката непосредно поред пута. Та појава последица је totalne рефлексије која се догађа између слојева ваздуха различитих температура.



Слој ваздуха који је најближи асфалту највише је загрејан и има најмању оптичку густину. Светлосни зрак који иде ка асфалту пролази кроз слојеве ваздуха различитих оптичких густина, иде ка све ређим и ређим слојевима, прелама се, повећава упадни угао на следећи слој и коначно се totalno рефлектује. После тога се прелама, овога пута сваки пут улази у оптички гушћу средину, и због тога иде навише. Због тога посматрачу изгледа да се аутомобил креће по хоризонталном огледалу.

Та природна појава назива се фатаморгана. Фатаморгана може да се јави и у пустињама, где врео песак загрева ваздух, али и у поларним крајевима. Тамо је ситуација обрнута, подлога хлади ваздух, тако да је он најхладнији до самог тла, па су ликови поларне фатаморгане високо у ваздуху.



Фатаморгана и схематски приказ фатаморгане

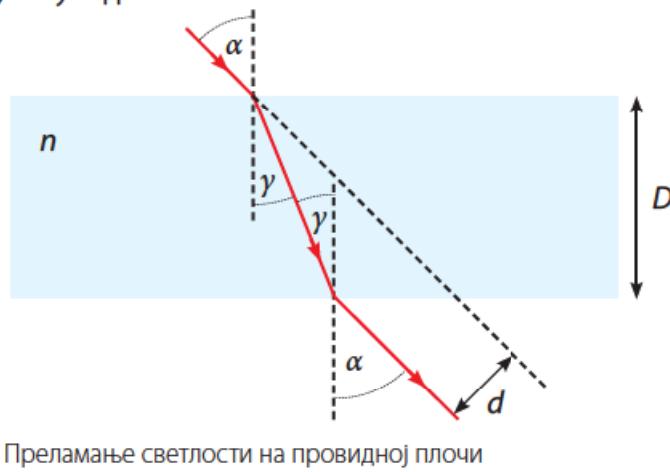
### Када долази до totalne рефлексије?



- Светлост долази из оптички гушће у оптички ређу средину. Ако је упадни угао већи од граничног угла totalne рефлексије, шта ће бити са зраком?
  - Преломиће се.
  - Остаће заробљен на граници те две средине.
  - Одбиће се.
- Светлост прелази из оптички ређе у оптички гушћу средину. Да ли је могуће да упадни угао буде такав да дође до totalne рефлексије?
- Наведите пример из Технике где се користи totalna рефлексија.
- Да не би дошло до totalne рефлексије, колики треба да буде упадни угао светлосног зрака: већи или мањи од граничног угла?

# ПРЕЛАМАЊЕ СВЕТЛОСТИ КРОЗ ПЛОЧУ И ПРИЗМУ

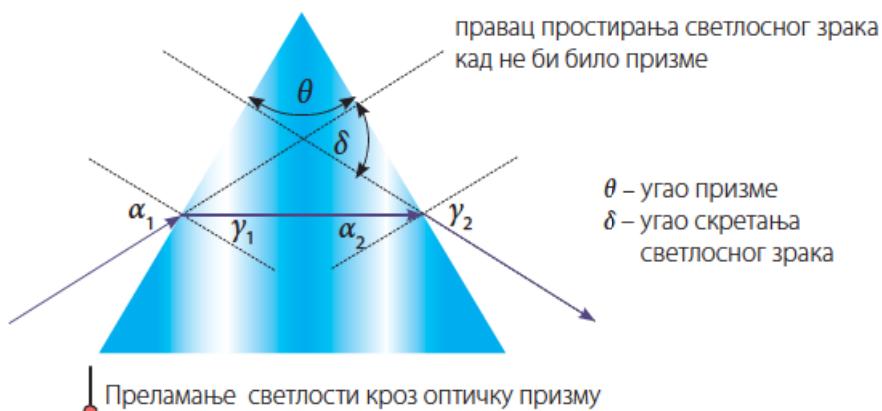
Када светлосни зрак падне на прозирно тело (на пример, на прозорско стакло), он се прелама два пута. Први пут при уласку, а други при изласку из тела. Ако је тело такво да су граничне површи међусобно паралелне, зрак који излази из тела паралелан је зраку који улази у тело, односно, излазни зрак је паралелно померен у односу на упадни.



Преламање светлости на провидној плочи

Величина **померања светлосног зрака** ( $d$ ) зависи од индекса преламања плоче ( $n$ ), величине упадног угла ( $\alpha$ ) и дебљине плоче ( $D$ ).

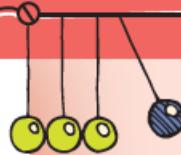
Тространа правилна призма од провидног материјала назива се **оптичка призма**. При проласку кроз призму, светлосни зрак се прелама два пута. Због тога што бочне стране нису паралелне, зрак који напушта призму скреће у односу на упадни зрак.



Преламање светлости кроз оптичку призму

Величина **угла скретања светлосног зрака** ( $\delta$ ) зависи од:

- упадног угла светлосног зрака ( $\alpha_1$ ),
- угла призме ( $\theta$ ),
- индекса преламања материјала призме ( $n$ ).



- померање светлосног зрака
- оптичка призма
- угао скретања светлосног зрака

## САЗНАЈ ВИШЕ

Када плоча има паралелне странице, као на слици, онда у случају проласка светлости кроз плочу, постоје само два различита угла.

Светлост наилази на доњу граничну површ под углом који је једнак преломному углу. После преламања на излазу из плоче, њен преломни угао је једнак упадном углу под којим светлост наилази на плочу.

Уз мало вежбе из геометрије, ово можете сами да покажете.



## ОГЛЕД

### МАТЕРИЈАЛ:

чаша с водом и новчићем.

### ОПИС РАДА:

У чашу сипајте воду и убаците новчићем. Ако погледате чашу са новчићем са стране, видећете два лика новчића.

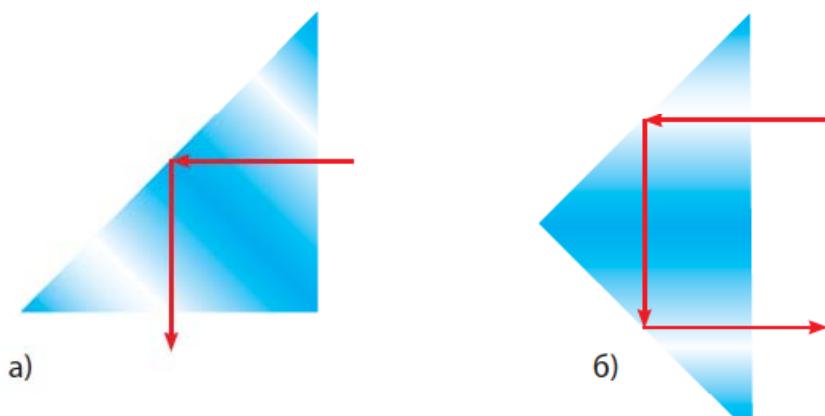
### ОПАЖАЊЕ:

Објасните зашто.



Оптичке призме користе се у разним оптичким инструментима за скретање светлосних зракова. Призма чији је угао призме прав, а преостала два угла од по  $45^\circ$ , често се користи као огледало. Као што је приказано на доњој слици у случају под а), када светлосни зрак пада нормално на површ овакве призме – он се не прелама при уласку у призму. Затим, у призми пада под углом од  $45^\circ$  степени. Овај угао је већи од граничног угла за тоталну рефлексију на граници стакла и ваздуха ( $42^\circ$ ). Због тога се зрак одбија од површи и пада нормално на следећу површ, па без преламања излази из призме.

Стаклена призма се може користити и да се промени смер кретања зрака, као што је приказано на доњој слици у случају б).



| Коришћење оптичких призми за скретање светлосних зракова



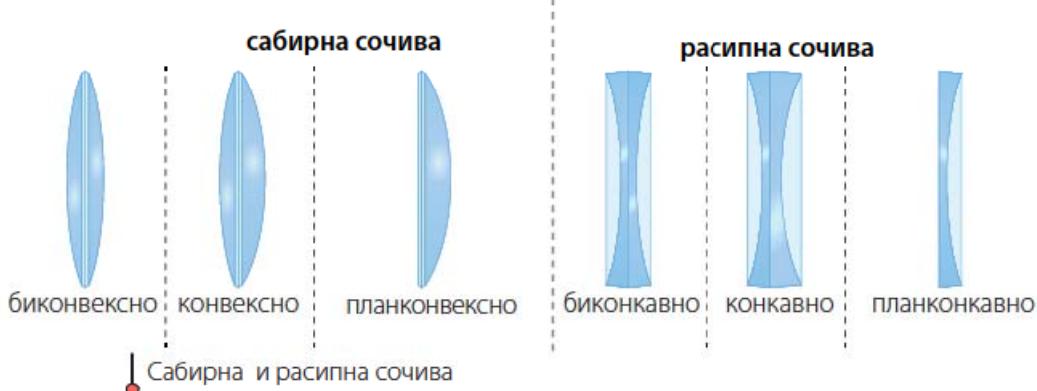
- У каквом су односу зраци који улазе у равну стаклену плочу и зраци који из те плоче излазе?
- Ако се повећа дебљина стаклене плоче, да ли ће се променити и како померај ( $d$ ) светлосног зрака?
- Од чега зависи угао скретања светлосног зрака код оптичке призме?
- Да ли зрак који изађе из оптичке призме може да заклапа прав угао са упадним зраком?
- Да ли зрак који прође кроз оптичку призму може да буде паралелан упадном зраку?

# СОЧИВА

Сочива су провидна тела са две сферне или једном сферном и једном равном граничном површи. Сочива су израђена од стакла или специјалне врсте пластике. Користе се код скоро свих оптичких инструмената, микроскопа, фото-апарата, наочара. Ипак, најважније сочиво у свету око нас јесте управо оно које се налази у оку.

Врсте сочива:

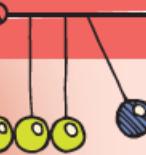
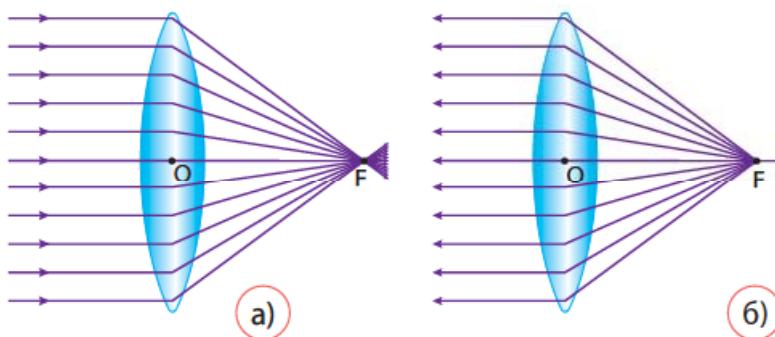
- **сабирна** (или конвексна) – тањи крајеви, најдебља су на средини;
- **расипна** (или конкавна) – дебљи крајеви, најтања су на средини.



Сабирна и расипна сочива

Како код призме, приликом проласка кроз сочиво, светлосни зрак прелама се два пута, при уласку у сочиво и при изласку из њега. На сликама на којима је приказано како се светлосни зрак прелама при проласку кроз сочиво, обично је приказано само једно преламање. То је поједностављен приказ, који није сасвим тачан, али доприноси бољем разумевању.

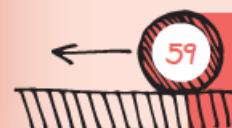
Попут огледала, и сочива имају главну оптичку осу. То је линија која пролази кроз жиже сочива. Зраци који су паралелни с главном оптичком осом сабирних сочива, после преламања на сочиву, секу се у тачки која се назива **жижа сочива**. Важна тачка на сочиву је и оптички центар. То је тачка у којој главна оптичка оса пресеца средину сочива. Сабирна сочива су добила назив по томе што зраке паралелне оптичкој оси, после преламања, сабирају у жижи. Ако је извор светlostи у жижи сочива, онда ће се зраци, после преламања, простирати паралелно главној оптичкој оси.



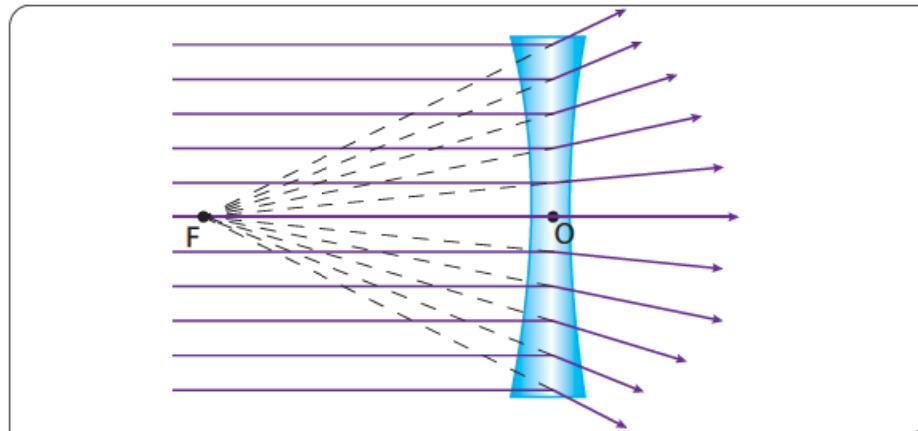
- сочива
- сабирна сочива
- расипна сочива
- жижа сочива
- жижна даљина
- оптички центар сочива



Сабирно сочиво: а) сабира паралелне зраке у жижу,  
б) зраци емитовани из жиже  
после преламања простиру се паралелно



Код расипних сочива, преломни зраци се расипају, отуд и њихов назив. Ако бисмо преломне зраке продужили, видели бисмо да се секу у једној тачки. У тој тачки се не секу зраци, већ њихови продужеци, па се та тачка назива **имагинарна жижка сочива**.



Код расипног сочива секу се продужеци зрака

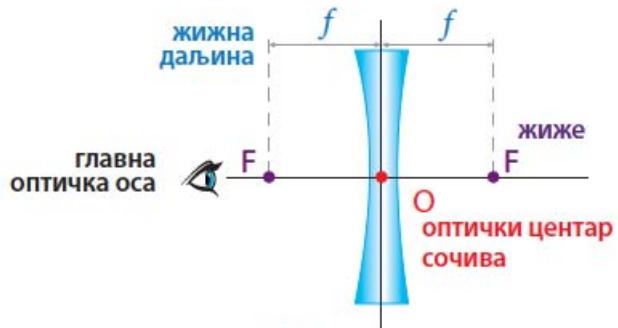
Сочива имају две жиже, по једну са сваке стране сочива. Обе жиже једнако су удаљене од центра сочива. С тим што сабирна сочива имају две реалне, а расипна две имагинарне жиже. Растојање жиже од центра сочива назива се **жижна даљина**. Поред жиже и жижне даљине, у елементе сочива спада и оптички центар сочива.

**Жижна даљина**  
је растојање од  
жиже до оптичког  
центра сочива.

**Главна оптичка оса** је права линија која пролази кроз жиже и оптички центар сочива.



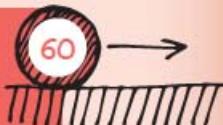
a)



б)

Елементи сочива: а) сабирног, б) расипног

- Која сочива имају танке крајеве, а најдебља су на средини?
- Описи како изгледају расипна сочива.
- Шта је главна оптичка оса?
- Сноп зрака паралелних оптичкој оси пада на сабирно и расипно сочиво. Како се простиру зраци после проласка кроз сочиво, у оба случаја?
- Где се налази оптички центар сочива?

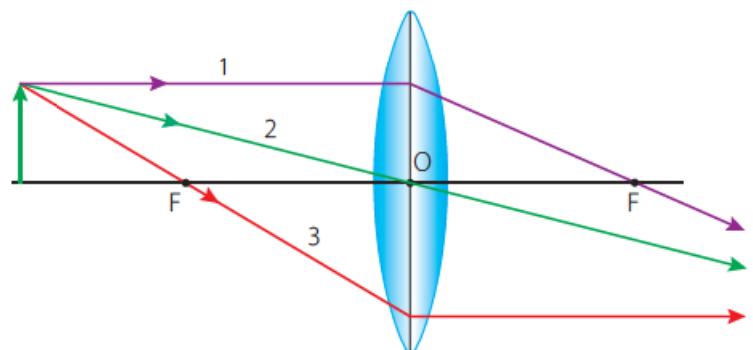


# ОДРЕЂИВАЊЕ ПОЛОЖАЈА ЛИКОВА КОД СОЧИВА

За одређивање положаја ликова код сочива, користићемо исти метод као код сферних огледала. Предмет ће бити стрелица нормална на оптичку осу. За конструкцију лика користићемо карактеристичне зраке. И код сочива, као и код сферних огледала, карактеристични зраци су зраци чији су правци простирања, после преламања, познати.

Карактеристични зраци:

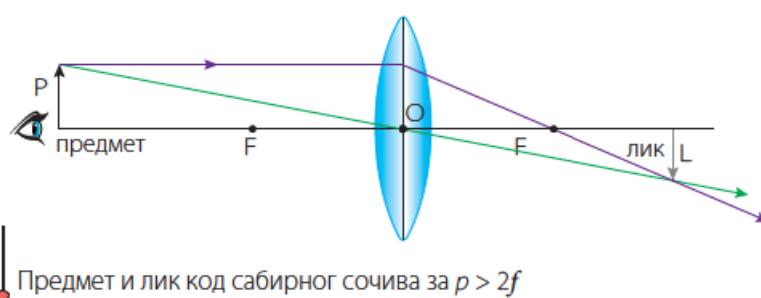
- 1 – зрак паралелан с главном оптичком осом сочива након преламања пролази кроз жижу;
- 2 – зрак који пролази кроз оптички центар сочива не скреће;
- 3 – зрак који пролази кроз жижу, након преламања, постаје паралелан с главном оптичком осом.



Карактеристични зраци код сочива

Када се предмет налази на главној оптичкој оси, за конструкцију лика довољно је да се користе два зрака. Конструкција лика ће бити показана на једном примеру, а остали карактеристични случајеви ће бити дати у задацима.

Размотримо случај у којем је удаљеност предмета већа од двоструке жижне даљине ( $p > 2f$ ). Положај врха лика добија се у пресеку два карактеристична зрака. Лик је онда стрелица нормална на оптичку осу, са подножјем на оси.

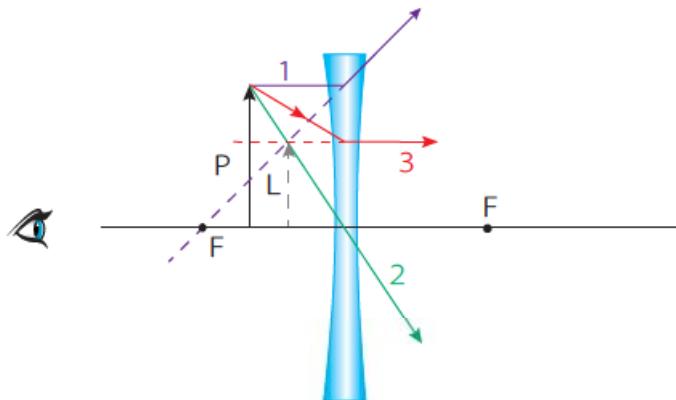


Предмет и лик код сабирног сочива за  $p > 2f$

Лик између жиже и двоструке жижне даљине, стваран је, обратут и мањи од предмета. Што је удаљеност предмета од оптичког центра сочива већа, то је лик мањи и ближе жижи. Када се предмет налази на веома великој удаљености, лик се формира у жижи.

На исти начин конструишишемо лик код расипних сочива. Код расипних сочива, лик се увек образује између жиже и сочива, на истој страни на којој се налази и предмет. Зрак паралелан оптичкој оси прелама се тако да изгледа као да долази из жиже. Зрак који пролази кроз центар сочива се не прелама. Ова два карактеристична зрака се не секу после преламања. Лик се формира у продужетку првог зрака и зрака који пролази кроз центар сочива. Због тога је лик имагинаран, и увек је имагинаран код расипног сочива, умањен је и усправан. Што је предмет даље од расипног сочива, лик је мањи.

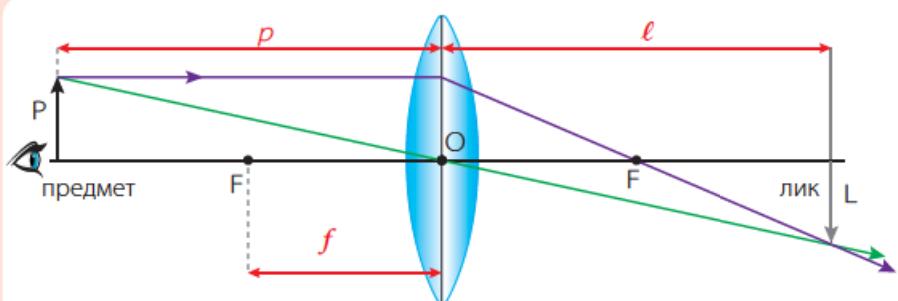
Предмет и лик код  
расипног сочива за  $p > 2f$



**Једначина сочива** повезује удаљеност предмета и лика – од сочива са жижном даљином.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l}$$

$p$  – удаљеност предмета од сочива  
 $l$  – удаљеност лика од сочива  
 $f$  – жижна даљина



Елементи у једначини сочива

Код расипног сочива лик и жижу су имагинарни. И као и код сферног испупченог огледала, у једначини сочива, испред чланова који садрже жижну даљину и даљину лика, налази се знак минус.

За расипна сочива, једначина може да се напише у следећем облику:

$$-\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{l}$$

## УВЕЋАЊЕ СОЧИВА

Величина лика који ствара сочиво разликује се од величине предмета. У једном посебном случају величине лика и предмета су једнаке. Као и код сферних огледала, величина која представља однос величине лика и предмета – назива се **увећање**. Увећање је, с друге стране, једнако и количнику удаљења лика и удаљења предмета од центра сочива.

$$u = \frac{l}{P} = \frac{l}{p}$$

$L$  – величина лика

$P$  – величина предмета

$p$  – удаљеност предмета од сочива

$l$  – удаљеност лика од сочива



Предмет се налази на растојању од 30 см од сабирног сочива чија је жижна даљина 20 см. На ком се растојању од сочива формира лик? Колико је увећање сочива?

### ПОЗНАТЕ ВЕЛИЧИНЕ РЕШЕЊЕ

$$p = 30 \text{ cm}$$

$$f = 20 \text{ cm}$$

$$\ell = ?$$

$$u = ?$$

У једначини сочива, једина непозната је удаљеност лика од сочива:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell} \text{ онда је } \frac{1}{\ell} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{1}{20 \text{ cm}} - \frac{1}{30 \text{ cm}} = \frac{1}{60 \text{ cm}} - \frac{2}{60 \text{ cm}} = \frac{1}{60 \text{ cm}}$$

$$\ell = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Увећање је: } u = \frac{\ell}{p} = \frac{60 \text{ cm}}{30 \text{ cm}} = 2$$

## ОПТИЧКА ЈАЧИНА СОЧИВА

Видели сте да жижна даљина сферних огледала зависи од полупречника сфере чији је део огледало. Слично је и са сочивима. Што је полупречник кривине сочива већи, сочиво је тање и већа је и жижна даљина сочива.

Оптичка јачина сочива се израчунава као реципрочна вредност жижне даљине. Означава се грчким словом  **$\omega$  (омега)**.

$$\omega = \frac{1}{f}$$

Што је жижна даљина мања, оптичка јачина сочива је већа, односно, може да се каже да је сочиво јаче. Оптичка јачина сабирних сочива је позитивна ( $\omega > 0$ ), а за расипна је негативна ( $\omega < 0$ ).

Мерна јединица за оптичку јачину сочива је „један кроз метар“ и назива се **диоптрија**. Означава се латиничним словом **D**.

$$D = \frac{1}{m}$$

Диоптрија није физичка величина, већ мерна јединица. Када неко носи наочаре, обично се каже да има диоптрију, на пример: +1,5 или -1, али то није добро речено. Исправно би било да се каже да носи наочаре оптичке јачине +1,5 диоптрије. Кратковиди имају наочаре с расипним, а далековиди са сабирним сочивима.



Колика је оптичка јачина сабирног сочива жижне даљине 50 см?

### ПОЗНАТЕ ВЕЛИЧИНЕ

$$f = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$\omega = ?$$

### РЕШЕЊЕ

Оптичка јачина сочива је:

$$\omega = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,5 \text{ m}} = +2 D$$



- Којом путањом се крећу зраци код сабирних сочива ако су пре преламања паралелна с главном оптичком осом?
- Где се образује лик код расипних сочива?
- Где се образује лик код сабирних сочива?
- Како гласи једначина сочива ако су жижна даљина и лик стварни?
- Шта је диоптрија?



# ОПТИЧКИ ИНСТРУМЕНТИ

Видели сте да, уз помоћ равних огледала и призми, светлосни зрак може да се спроведе на жељено место. Сочива и сферна огледала могу да увећају или да умање лик предмета. Комбинацијом неколико оваквих елемената, могу да се конструишу оптички инструменти који могу да буду од велике помоћи, или чак неопходни у свакодневном животу. Најчешће коришћени оптички инструменти су:



• телескоп,



• двоглед,



• фото-апарат,



• пројекциони апарат,

• лупа,

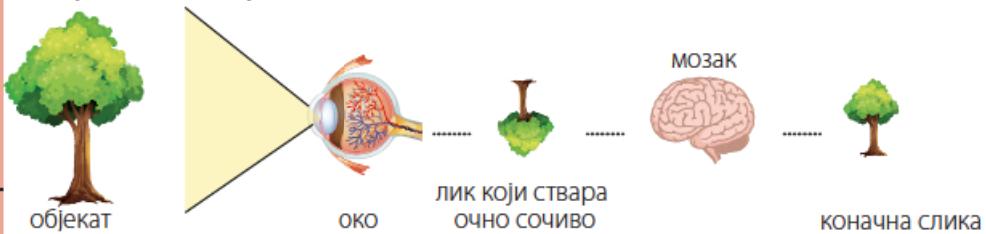
• микроскоп,

• наочаре.

## ОКО

Пре него што опишемо неке важне оптичке инструменте ево, неколико речи о оку. Око је вероватно један од најсавршенијих органа у живом свету. Људско око је врло сложен инструмент и задржаћемо се само на његовим оптичким особинама. Светлост у унутрашњост ока улази кроз зеницу. Отвор зенице се мења у зависности од интензитета светлости. Један од слојева испод беоњаче (судовњача) садржи пигмент који служи да апсорбује сву светлост која падне на беоњачу, тако да ништа не може да продре у унутрашњост ока, осим кроз зеницу.

Светлост која прође кроз зеницу – пада на очно сочиво, прелама се кроз сочиво и пада на осетљиви део ока, мрежњачу. Најосетљивији део мрежњаче је **жута мрља**. Мрежњача је прошарана нервима који служе да се сигнал пренесе до мозга – где се формира коначна слика. Занимљиво је да је на мрежњачи свака слика обрнута и умањена (због сабирног сочива), а да се у мозгу слика „окреће“ како треба.



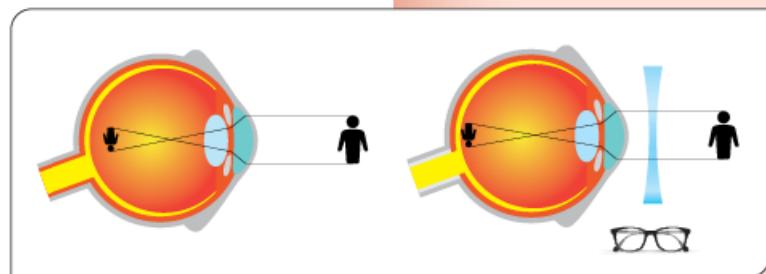
Како око види

Очно сочиво је повезано са групом мишића који могу да мењају облик сочива и, самим тим, жижну даљину. Променом жижне даљине, око може сасвим да изоштри слику, у зависности од удаљености предмета од ока. Када гледамо предмете који су нам близу, мишићи притискају и савијају сочиво тако да оно постаје дебље, па се тако добија мања жижна даљина, и лик пада на мрежњачу. Када су предмети далеко, онда мишићи исправљају сочиво, повећавајући жижну даљину.

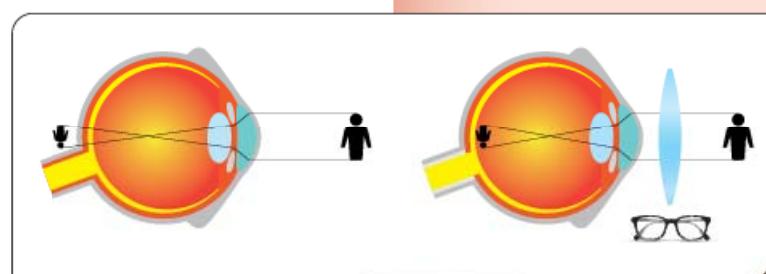
## НАОЧАРЕ

Када очно сочиво не ради како треба, потребна је корекција споља. Поремећаји у функционисању сочива могу се поделити у две велике групе: кратковидост и далековидост. Код кратковидих људи – светлосни зраци се секу у оку тако да се лик формира испред мрежњаче. Због тога су предмети који су далеко од посматрача мутни. Да би се лик померио до мрежњаче, користе се расипна сочива. Комбинација расипног и очног сочива омогућава да се лик формира на мрежњачи.

Код далековидних људи, светлосни зраци се у оку секу тако да се лик формира иза мрежњаче. Због тога су предмети који су близу посматрача посебно мутни. Комбинацијом сабирног и очног сочива добија се јасна слика на мрежњачи.



Кратковидост и корекција вида наочарима са расипним сочивом



Далековидост и корекција вида наочарима са сабирним сочивом

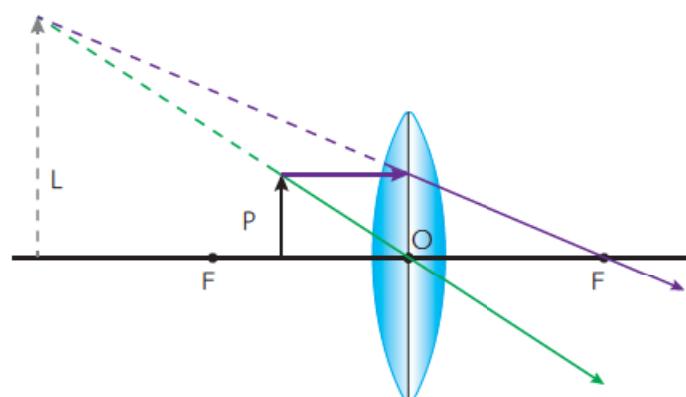
## ЛУПА

Лупа је најједноставнији оптички инструмент који се користи да би се ситни предмети боље видели – увећани. Лупа је сабирно сочиво, мале жижне даљине. Када гледамо предмет кроз лупу да бисмо постигли да нам лик буде оштар, лупу померамо напред-назад док не постигнемо жељену оштрину.

Предмет треба да буде између жиже и сочива. Тада је лик имагинаран (са исте стране са које је и предмет), усправан и увећан. Даљим, финим померањем лупе, постиже се да се добије јасан и оштар лик на даљини од око 25 см. Ова даљина се назива **даљином јасног вида** и обележава се словом *d*.

**Увећање лупе** дефинише се као количник даљине јасног вида и жижне даљине сочива лупе.

$$u = \frac{d}{f} = \frac{0,25 \text{ m}}{f}$$



Лупа, схематски приказ





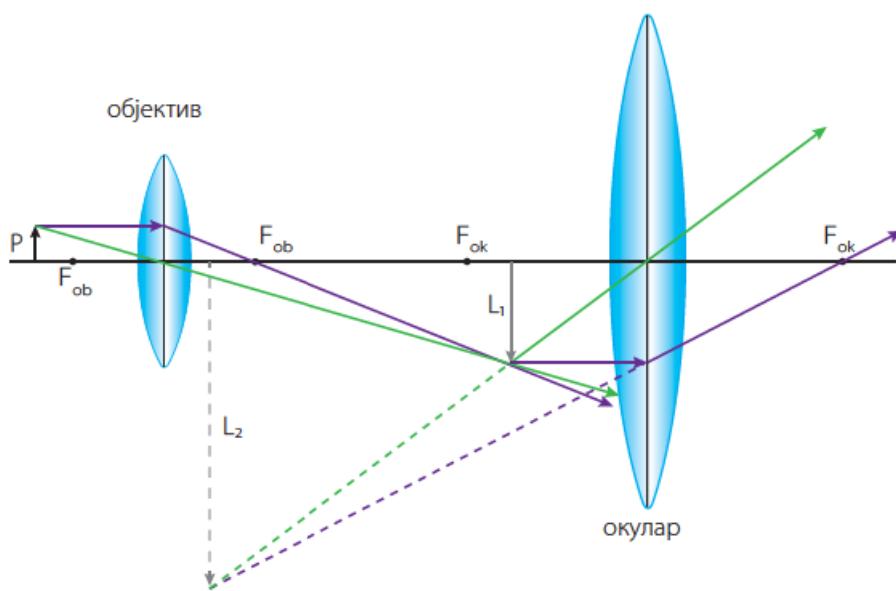
Микроскоп

## МИКРОСКОП

Увећање лупе има ограничења. Сувише мала жижна даљина сочива доводи до деформације слике, тако да нема користи од великог увећања. Због тога се за велика увећања користи микроскоп. Најједноставнији оптички микроскоп има два сабирна сочива. Сочива су на крајевима цеви, којој може да се мења дужина, односно растојање између сочива. Сочиво на доњем крају цеви (близу предмета) назива се **објектив**, а сочиво уз око посматрача назива се **окулар**.

Објектив има веома малу жижну даљину (од неколико милиметара), док је жижна даљина окулара неколико центиметара. Предмет се поставља близу жиже објектива, тако да се лик формира у цеви – обрнут, реалан и увећан( $L_1$ ). Овај лик је предмет за окулар. Окулар ради као лупа, са ликом објектива који пада између жиже окулара и окулара. Лик који ствара окулар је имагинарен и увећан, и окренут је на исту страну као и лик објектива ( $L_2$ ).

Променом дужине цеви изоштрава се слика, тако да се оштар лик формира приближно на даљини јасног вида. Да би се ситни предмети добро видели – микроскопи имају и извор светlostи који осветљава предмет.



Микроскоп, изглед и принцип рада



Каква сочива користе кратковиди, а каква далековиди људи?

- Колико приближно износи даљина јасног вида код лупе?
- Где се налазе објектив и окулар код микроскопа?
- Колико и каквих сочива има стандардни микроскоп?
- Да ли је сочиво у људском оку сабирно или расипно?



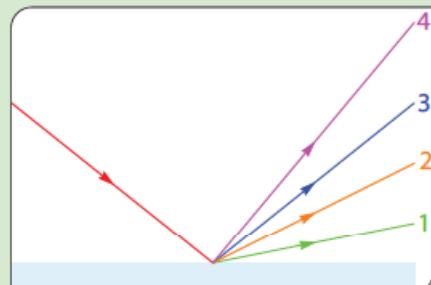
## САЖЕТАК

- Тела која емитују светлост називају се **светлосним изворима**.
- Кроз хомогене средине светлост се простира праволинијски.
- За извор светлости можемо да кажемо да је тачкаст ако је много мањи од предмета који осветљава или ако је на великој удаљености од предмета који осветљава.
- Сенка и полусенка јесу последице праволинијског простирања светлости.
- **Закон одбијања светлости:**
  - упадни угао једнак је одбојном углу ( $\alpha = \beta$ );
  - упадни зрак, нормала и одбојни зрак леже у истој равни.
- Огледала чије су површи закривљене називају се **сферним огледалима**.
- Сферна огледала могу бити издубљена и испупчена.
- Карактеристични зраци су они зраци чији су правци простирања после одбијања од огледала познати.
- Брзина светлости највећа је позната брзина у природи.
- Брзина светлости у вакууму износи  $300\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .
- Што је у некој средини брзина светлости мања, та средина је оптички гушћа.
- **Закон преламања светлости:**
  - када светлосни зрак прелази из оптички ређе у оптички гушћу средину, а упадни угао је већи од преломног угла, зрак скреће ка нормали;
  - када светлосни зрак прелази из оптички гушће у оптички ређу средину, а упадни угао је мањи од преломног угла, зрак скреће од нормале;
  - ако светлосни зрак пада нормално на граничну површ, онда не скреће.
- **Тотална рефлексија** јавља се кад светлосни зрак прелази из оптички гушће у оптички ређу средину, а упадни угао већи је од граничног угла. Тада се светлосни зрак одбија од граничне површи као од равног огледала.
- Сочива могу бити **сабирна** (конвексна) или **расипна** (конкавна).
- Зраци који су паралелни с главном оптичком осом сабирних сочива после преламања секу се у тачки која се назива **жижом сочива**.
- Свако сабирно сочиво има две жиже, по једну са сваке стране сочива. Обе жиже једнако су удаљене од центра сочива.
- Код расипних сочива продужеци преломљених зракова секу се у једној тачки – **имагинарној жижи** расипног сочива. Свако расипно сочиво има две имагинарне жиже, подједнако удаљене од центра сочива.
- **Оптичка јачина сочива** обележава се грчким словом **омега** ( $\omega$ ) и израчунава се:  $\omega = \frac{1}{f}$ .
- Мерна единица за оптичку јачину сочива јесте **диоптрија** ( $D$ ).
- **Увећање сочива** једнако је:  $u = \frac{L}{P} = \frac{\ell}{p}$ .
- **Једначина сабирног сочива** је:  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$ .
- **Једначина расипног сочива** је:  $-\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\ell}$ .
- Најчешће коришћени **оптички инструменти** су: телескоп, двоглед, фото-апарат, пројекциони апарат, лупа, микроскоп и наочаре.



## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Зашто видимо Месец иако он не емитује светлост?
2. Како се простира светлост у оптички хомогеним срединама?
3. Када се јавља само сенка, а када се јављају и сенка и полусенка?
4. Да ли неко тело истовремено може да има више сенки?
5. Која тела немају сенку?
6. Да ли можете да замислите ситуацију у којој тело има само полусенку, а нема сенку?
7. Како се то дешава да ми видимо предмете који нису извори светлости?
8. Шта се дешава када светлост нађе на граничну површ између две средине?
9. Како то да можемо да видимо свој лик у огледалу, а не можемо га видети на бело окреченом зиду, на пример?
10. Каква је разлика између одбијања светлости од равног огледала и дифузног одбијања?
11. Да ли је за очи пријатније читање са храпаве или са глатке хартије? Објасни.
12. Зашто долази до преламања светлости?
13. Када се светлосни зраци не преламају при преласку из једне оптичке средине у другу?
14. Када долази до totalне рефлексије?
15. У соби се налазе дечак и лопта. Укључена је лампа и дечак гледа у лопту. Како се креће светлосни зрак који дечаку омогућава да види лопту?  
a) дечакове очи → сијалица → лопта      b) лопта → сијалица → дечакове очи  
v) сијалица → дечакове очи → лопта      g) сијалица → лопта → дечакове очи
16. Шта су тачкастиизвори светлости?  
a) Извори занемарљиво мале димензије.  
b) Извори који се састоје од тачкица.  
v) Извори који светле само у једном правцу.  
g) Извори који дају мали интензитет светлости.
17. На слици је приказано одбијање зрака светлости од равне површине. Који од понуђених је одбојни зрак: 1, 2, 3 или 4?



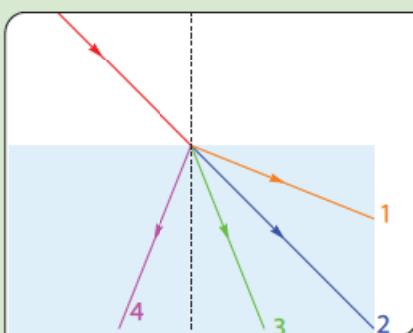
18. У којој је од наведених средина брзина светлости највећа?

- a) у вакууму    б) у води  
в) у стаклу    г) у дијаманту

19. Колика је брзина светлости у вакууму?

- а)  $30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$     б)  $3\ 000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$   
в)  $300\ 000 \frac{\text{km}}{\text{h}}$     г)  $300\ 000\ 000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

20. Зрак светлости наилази на оптички гушћу средину и прелама се. Који зрак на слици одговара преломљеном зраку: 1, 2, 3 или 4?

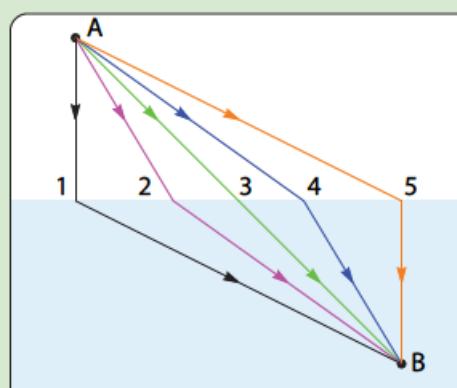


21. Зрак светлости пролази кроз три средине. Индекси преламања за те средине су различити, и  $n_1 > n_2 > n_3$ . Како се међусобно односе брзине светлости у тим срединама?

- а)  $v_1 > v_2 > v_3$     б)  $v_3 > v_2 > v_1$   
в)  $v_3 > v_1 > v_2$     г)  $v_2 > v_1 > v_3$

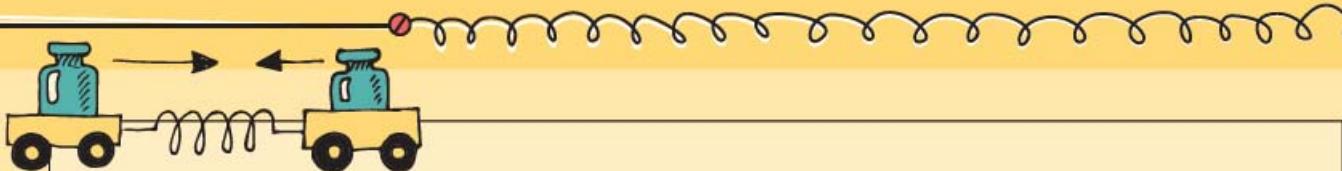
22. Извор светлости који се налази у тачки А, са слике, еmitује светлост у свим правцима. Тачка В се налази у оптички гушћој средини. Од приказаних зрака на слици, само један представља правилно приказан зрак који стиже до тачке В. Који је то зрак?

- а) зрак бр. 1    б) зрак бр. 2  
в) зрак бр. 3    г) зрак бр. 4  
д) зрак бр. 5



23. Како се назива појава која омогућава да светлост пролази кроз оптичке каблове, не расипајући се са стране, иако су каблови од стакла?

- а) тотална рефлексија    б) апсорпција светлости  
в) мултипликација светлости    г) апсолутно провођење



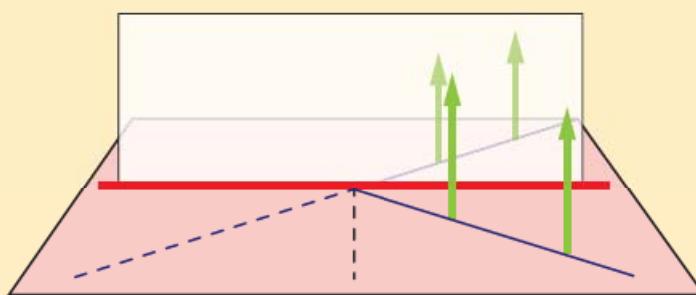
## ПРОЈЕКАТ – ЗАКОН ОДБИЈАЊА СВЕТЛОСТИ

**ЦИЉ ПРОЈЕКТА:** Провера закона одбијања светлости.

**БРОЈ ЂАКА У ТИМУ:** три-четири

**Материјал за рад:** Лист папира, мало правоугаоно огледало, две штипальке, четири шпенадле, лењир, угломер, подлога у коју могу да се убоду шпенадле (плута или стиропор).

**ТОК ПРОЈЕКТА:** Припрема за извођење огледа, мерења, обрада резултата, доношење закључака о појави.



- На чистом листу папира повуците произвольну дуж, на коју ћете касније поставити огледало. Нацртајте упадни зрак који под произвљајним углом пада на нацртану дуж. (Ово је боље урадити на тврдој подлози пре него што лист ставите на плуту или стиропор.)
- Уз помоћ штипальки поставите огледало на нацртану дуж. Водите рачуна да буде потпуно вертикално.
- Две шпенадле забодите у подлогу кроз папир, тако да обе буду на линији која представља упадни зрак. Потрудите се да шпенадле стоје вертикално.
- Гледајте у огледало у ликове шпенадли. Преостале две шпенадле пажљиво забодите у папир тако да буду дуж истог правца са ликовима шпенадли.
- Извадите шпенадле, склоните папир са мекане подлоге и означите тачке у којима су биле последње две. Кроз те две тачке повуците праву до дужи на којој је било огледало. Ако сте пажљиво радили, та линија би требало да сече дуж управо на месту на коме се упадни зрак завршава. У тачки одбијања нацртаног зрака повуците нормалу на дуж. Измерите упадни и одбојни угао. Процените грешке мерења.

$\alpha$		$\Delta\alpha$	
$\beta$		$\Delta\beta$	

**ЗАКЉУЧАК:**

- Да ли ваши резултати потврђују закон одбијања светлости?
- У овом огледу није коришћен извор светлости. Како сте без њега успели да изведете оглед који проверава закон одбијања светлости?
- Поновите цео оглед за другу вредност упадног угла.





## ЗАДАЦИ

- Предмет се налази испред равног огледала.



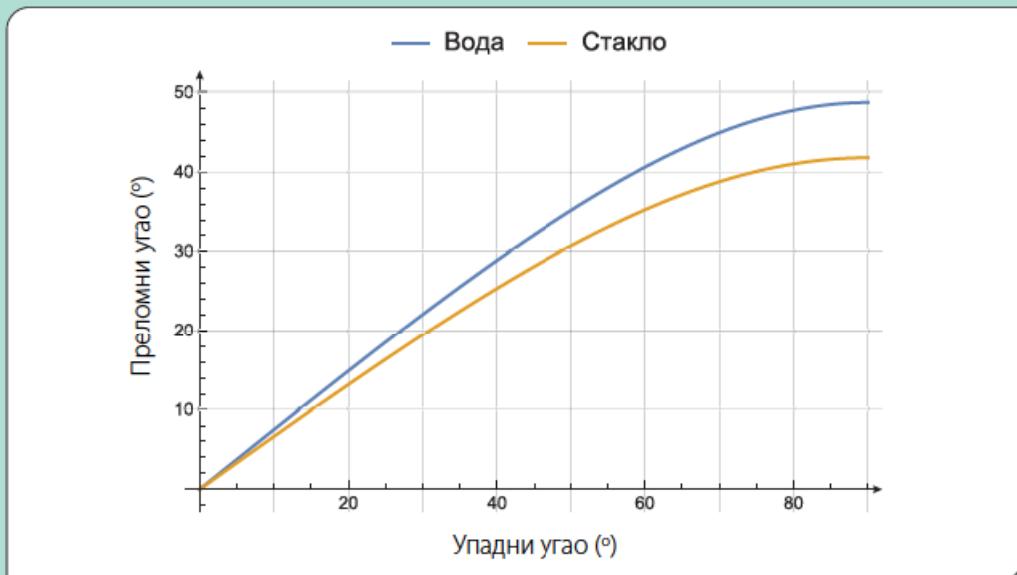
Користећи зраке приказане на слици, који падају на огледало, одредите положај лица. Лик који се формира код равног огледала је нестваран (имагинаран). Објасните зашто.

- Одредити жижну даљину издубљеног сферног огледала чији је полу пречник кривине 10 m? Нацртати слику и означити елементе огледала.
- Колики је полу пречник кривине сферног огледала жижне даљине 4 m?
- Свећа се налази 9 cm испред удубљене углачане сферне површине полу пречника кривине 6 cm. Где се налази лик свеће? Да ли је лик реалан или имагинаран?
- Предмет је постављен на удаљености 60 cm од издубљеног огледала жижне даљине 20 cm. Где се формира лик? Колико је увећање лица?
- Предмет висине 2 cm постављен је на удаљености 15 cm од издубљеног огледала жижне даљине 10 cm. Одредите положај лица. Колика је висина лица?
- Предмет висине 15 cm постављен је испред издубљеног огледала жижне даљине 50 cm. Лик се формира на удаљености 150 cm од огледала, колика је висина лица?
- Свећа висине 4 cm постављена је на удаљености 20 cm од издубљеног огледала жижне даљине 30 cm. Одредите положај лица. Колика је висина лица?
- Предмет је постављен испред издубљеног огледала, на удаљености која је једнака трострукој жижној даљини. Конструишите лик и одредите карактеристике лица? Колика је удаљеност лица од огледала? Колико је увећање лица? Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.
- Предмет је постављен на удаљености 45 cm од испупченог огледала жижне даљине 15 cm. Где се налази лик?
- Испупчено огледало има жижну даљину 24 cm. Одредите увећање лица и његову удаљеност од огледала, ако се предмет налази на удаљености 16 cm од огледала? Конструишите лик и одредите карактеристике лица? Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.
- Колико времена је потребно сунчевом зраку, који се одбије од површине Месеца, да стигне до Земље? Просечна удаљеност Месеца и Земље је 384 000 km.



13. Светлосни зрак прелази из ваздуха у стакло. Који угао је већи, упадни или преломни? Нацртајте и објасните.

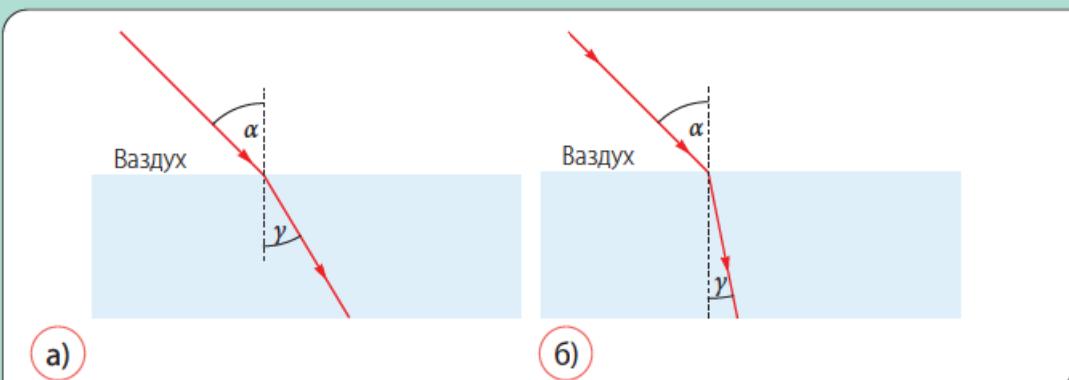
14. График приказује везу између упадног и преломног угла када светлост прелази у воду и стакло, а долази из ваздуха.



На основу графика:

- Оредите преломни угао, ако је упадни угао  $30^{\circ}$ , а зрак прелази из ваздуха у стакло. Оредите угао скретања.
- Светлосни зрак прелази из воде у ваздух. Ако је преломни угао  $40^{\circ}$ , са графика одредите упадни угао.
- Светлосни зрак долази из ваздуха. Упадни угао је  $40^{\circ}$ . Колики би био преломни угао ако прелази у воду, а колики ако прелази у стакло.

15. На слици је приказан прелаз светлости из ваздуха у две различите оптичке средине. Која од оптичких средина има већи индекс преламања?



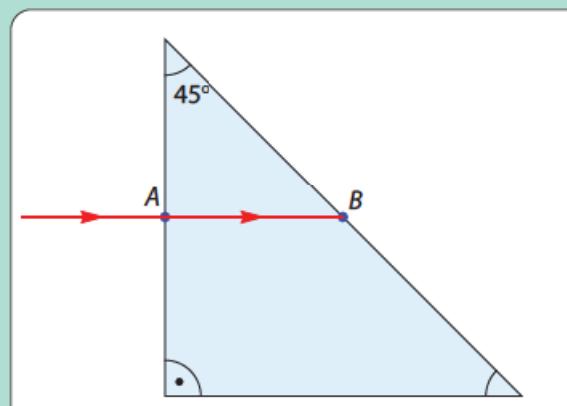
**16.** Израчунајте брзину светlostи у води и стаклу. Апсолутни индекси преламања су за воду 1,33 и стакло 1,50.

**17.** Светлосни зрак пада на призму, види слику:

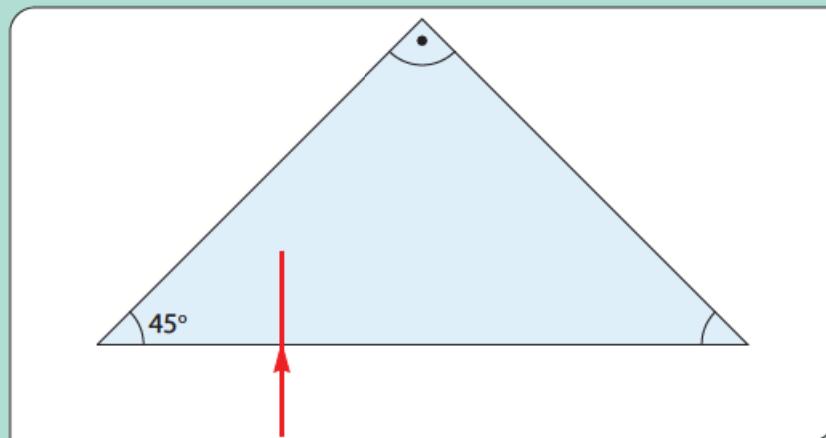
- a)** Зашто се зрак не прелама у тачки A?
- б)** Колики је упадни угао у тачки B?
- в)** Шта се дешава у тачки B? Објасните зашто.

**г)** Нацртајте путању зрака од тачке B до изласка из призме.

Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.



**18.** Светлосни зрак пада на призму, види слику:

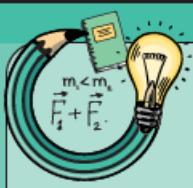


Нацртајте путању зрака кроз призму. Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.

**19.** Предмет је постављен испред сабирног сочива жижне даљине 25 см. Ако је удаљеност предмета од центра сочива 50 см, одредите удаљеност лика од сочива.

**20.** Предмет је постављен на удаљености 36 см од сабирног сочива жижне даљине 12 см. Где се формира лик? Какав је лик? Колико је увећање лика? Нацртајте слику. Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.

**21.** Предмет је постављен на удаљености 60 см од сабирног сочива жижне даљине 30 см. Где се формира лик? Какав је лик? Колико је увећање лика? Нацртајте слику. Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.



## ЗАДАЦИ

22. Предмет висине 10 cm постављен је на удаљености 75 cm од сабирног сочива жижне даљине 50 cm. Одредите положај лица. Колика је висина лица? Нацртајте слику. Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.
23. Свећа висине 5 cm постављена је на удаљености 10 cm од сабирног сочива жижне даљине 50 cm. Одредите положај лица. Где се формира лик? Колика је висина лица? Нацртајте слику. Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.
24. Расипно сочиво има жижну даљину 30 cm. Ако се предмет налази на удаљености 20 cm од сочива, где ће се формирати лик? Какав је лик? Колико је увећање лица? Нацртајте слику. Напомена: Цртеж урадите у одговарајућој размери, како би вам све стало на папир.
25. Расипно сочиво постављено је на удаљености 60 cm од свеће висине 5 cm. Лик се формира на удаљености 24 cm од сочива. Одредити жижну даљину сочива. Колика је висина лица?
26. Сочиво фото-апарата има жижну даљину 5 cm. Помоћу овог фото-апарата фотографисан је човек висине 175 cm, који се налази на удаљености 2 m од сочива. Колика ће бити висина лица на филму?
27. Растојање између лица и предмета код сабирног сочива је 50 cm, а увећање је 4. Колика је жижна даљина сочива?
28. Растојање између лица и предмета код сабирног сочива је 27 cm, а увећање је 0,5. Колика је жижна даљина сочива?
29. Растојање између лица и предмета код расипног сочива је 27 cm, а увећање је 0,5. Колика је жижна даљина сочива?
30. Колика је оптичка јачина сабирног сочива жижне даљине 20 cm?
31. Колика је жижна даљина сочива оптичке јачине 25 диоптрија?

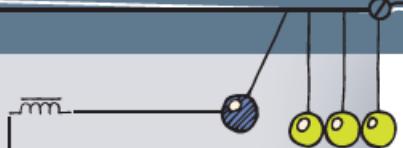
# ЕЛЕКТРИЧНО ПОЉЕ

У овом поглављу ћете се упознati са:

- основним својствима наелектрисаних тела;
- физичким величинама које их описују;
- појавама које настају када наелектрисана тела међусобно делују;
- Кулоновим законом који нам омогућава да одредимо силу узајамног дејства.

Многи од ових појмова су вам већ познати. Сада је важно да видимо у каквој су вези ти појмови и шта од физичких својстава може да се измери или израчuna.





- наелектрисање
- наелектрисавање
- електрицитет
- количина наелектрисања
- елементарно наелектрисање
- електронеутрална тела
- електроскоп
- електрометар

# НАЕЛЕКТРИСАЊЕ ТЕЛА

Наелектрисање је једно од основних својстава честица од којих је састављен материјални свет у коме живимо. Да честице које чине наш свет немају електрична својства, ништа од овога што нас окружује не би постојало, почевши од атома до небеских тела.

Примећено је да постоје две врсте наелектрисања. Наелектрисања исте врсте међусобно се одбијају, док се наелектрисања различите врсте привлаче. Научници су те две врсте наелектрисања назвали **позитивно и негативно наелектрисање**. Због тога што се наелектрисања привлаче или одбијају, закључујемо да између њих делује сила.

Захваљујући томе што се наелектрисања исте врсте одбијају, вишак наелектрисања са једног тела лако прелази на друга тела са којима је у контакту. Због тога, материјални објекти које виђамо, најчешће имају приближно исту количину позитивног и негативног наелектрисања. Позитивна и негативна наелектрисања увек теже да се распореде тако да количина једне и друге врсте наелектрисања у телу буду у равнотежи.

Иако су електричне појаве присутне у свим процесима које видимо, ми их најчешће не примећујемо. Као што гравитацију обично приметимо тек кад нам нешто падне и разбије се, тако и силу између наелектрисања приметимо само када се појави вишак наелектрисања. Појаве које настају због неравномерне расподеле наелектрисања некада су безазлене, на пример: коса која се, након чешљања, накостреши. Из истог разлога настају и неке важне или опасне појаве, попут електричне струје или муња током олује.



Коса је накострешена услед вишака наелектрисања



Муња настаје услед вишака наелектрисања...



## САЗНАЈ ВИШЕ

**Шарл-Огистен де Кулон** (1736–1806) је био француски инжењер и физичар. Он је извео експеримент помоћу ког је показао да је сила између тачкастих наелектрисања обрнуто сразмерна квадрату њиховог растојања. Законитост којом је одређена електростатичка сила назива се Кулонов закон, док се SI јединица за наелектрисање назива кулон у његову част.



Шарл-Огистен де Кулон

## НАЕЛЕКТРИСАВАЊЕ

Свако тело које видимо садржи позитивно и негативно наелектрисане честице. То, међутим, није довољно да бисмо га сматрали наелектрисаним телом. **Наелектрисана тела** су само она која имају вишак позитивног или негативног наелектрисања. Једино су тада електричне појаве уочљиве. Поступак који доводи до тога да тело има вишак позитивног или негативног наелектрисања назива се **наелектрисавање тела**.

Наелектрисана тела привлаче или одбијају лагане предмете. Наелектрисана шипка, на пример, привлачи зрнца прашине или парчиће папира, док наелектрисана коса постаје „непослушна“, јер се длаке одбијају једна од друге.

Нису сви материјали погодни за наелектрисавање. Огледе са електричним појавама најчешће изводимо са стакленим и пластичним предметима. Шипке од стакла и пластике могу једноставно да се наелектишу трљањем тканином. При томе се наелектишу и шипке и тканина. Чешљање пластичним чешљем наелектише истовремено и чешаљ и косу. При томе, чешаљ и коса су различито наелектрисани.

Наелектрисавање тела не значи да се наелектрисање ствара, већ да прелази са једног тела на друго. Колико се наелектрисање смањи на једном телу, толико се повећа на другом. Трење између два тела најчешћи је разлог због ког долази до ове прерасподеле наелектрисања. Ипак, трење не може да наелектише све материјале. Метали, на пример, не могу да се наелектишу на овај начин.

## ЕЛЕКТРИЦИТЕТ

Постоји много различитих појава које су последица узајамног деловања наелектрисаних тела. Осим привлачења и одбијања наелектрисаних тела, ту су и електрично пражњење, електричне струје, електромагнетизам итд. Сигурно сте много пута осетили краткотрајно пецкање када руку приближите другој особи или неком уређају. Понекад се то пуцкетање и чује. Објашњење које обично чујете за ту појаву је само једна реч – електрицитет! Та једна реч **електрицитет** јесте заједнички назив за цео низ физичких појава које су последица неравнотеже у расподели наелектрисања.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Електрицитет је био познат још у време античке Грчке. Филозоф Талес из Милета је први описао наелектрисање и својства наелектрисаног ћилибара (очврснула четинарска смола). По грчкој речи за ћилибар, две и по хиљаде година касније, једна од најмањих наелектрисаних честица добила је име **електрон**.



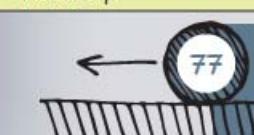
Чешљањем се наелектише пластични чешаљ



Наелектрисан пластични чешаљ привлачи папирче



Ћилибар



## ПОДСЕЋАЊЕ

Из предмета Хемија учили сте да се атоми сastoјe од електрона, протона и неутрона. Електрон је негативно наелектрисан, а протон је позитивно наелектрисан.

## КОЛИЧИНА НАЕЛЕКТРИСАЊА

Физичка величина која показује колико је неко тело наелектрисано назива се **количина наелектрисања**, и обележаваћемо је ознаком ***q*** или ***Q***. Ова физичка величина се односи на обе врсте наелектрисања. Позитивно наелектрисана тела имају позитивну вредност количине наелектрисања, док негативно наелектрисана тела имају негативну вредност. Ако тело није наелектрисано, количина наелектрисања је нула.

Мерна јединица за количину наелектрисања је **1 кулон (1 C)**.

**Протон** је позитивно наелектрисана честица. Количина наелектрисања протона износи  **$+1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$** .

**Електрон** је негативно наелектрисана честица и његова количина наелектрисања износи  **$-1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$** .

Као што видите, и електрон и протон имају исту количину наелектрисања, само различитог знака. Та вредност назива се елементарно наелектрисање. Елементарно наелектрисање обично се обележава словом ***e***.

Кулон је много већа јединица од елементарног наелектрисања.

Свака количина наелектрисања може да се представи као целобројни умножак елементарне количине наелектрисања:

$$q = n \cdot e.$$

Наелектрисање се не може створити нити уништити, оно се може само преносити са тела на тело, али увек тако да укупна количина наелектрисања за сва тела остане иста. Ово је **закон одржања наелектрисања**.

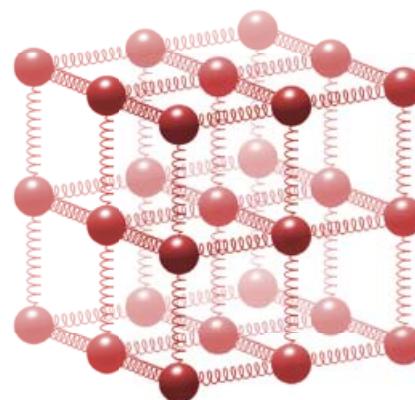


- Који су материјали из нашег окружења погодни за наелектрисавање трљањем?
- Шта се дешава када наелектрисана стаклена шипка дотакне ненаелектрисану стаклену шипку?
- Које врсте наелектрисања постоје у природи?

# НЕУТРАЛНЕ ЧЕСТИЦЕ И НЕУТРАЛНА ТЕЛА

Неке честице, као што је, на пример неутрон, немају наелектрисање. За њих кажемо да су електронеутралне. Такве честице узајамно не делују са наелектрисаним честицама. Атоми и молекули такође су електрично неутрални, јер садрже једнак број позитивних и негативних честица. Њихова укупна количина наелектрисања је нула. Због тога се атоми и молекули не привлаче и не одбијају на исти начин као протони и електрони. Због просторног распореда наелектрисаних делова унутар њих, између појединачних атома и молекула ипак долази до привлачења или одбијања.

Чврста тела су чврста баш због сила међу молекулима који их чине. Те силе не дозвољавају да се молекули једни другима превише приближе, а опет ни да се превише удаље. Оне их држе у стању равнотеже. Ако се молекули превише приближе, силе постају одбојне. Ако се молекули удаље, силе постају привлачне. Силе између молекула јако подсећају на силу у еластичној опрузи, као што је приказано на слици.

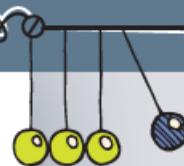


Модел сила између молекула у чврстом телу

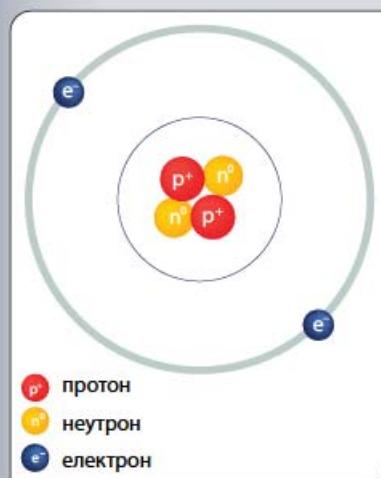
Слично је и код течности. Иако течности могу да мењају облик, растојања између честица у њима остају практично иста и запремина течности се не мења. Силе које делују између молекула не дозвољавају да се молекули једни другима превише приближе. С друге стране, кад неки молекули почну да се удаљавају, они за собом повуку и многе друге и ми то видимо као разливање или ток течности.

У случају гасовитог стања, молекули се међусобно одбијају као лоптице, јер им сила не дозвољава да се превише међусобно приближе. Ипак, због много већег растојања међу честицама у гасу, њихово међусобно привлачење не успева да задржи ширење гаса. То је разлог због ког се гасови шире до граница суда у ком се налазе.

Тела која се сastoјe од истог броја позитивних и негативних честица називају сe електронеутрална тела. Пошто сe тела сastoјe од атoma и молекула, најчешћe су електронеутрална. Да бисмо наелектрисали неко тело, морамо пореметити равнотежу између позитивних и негативних честица. Када остваримо вишак једне врсте наелектрисања на телу, тада смо га наелектрисали.



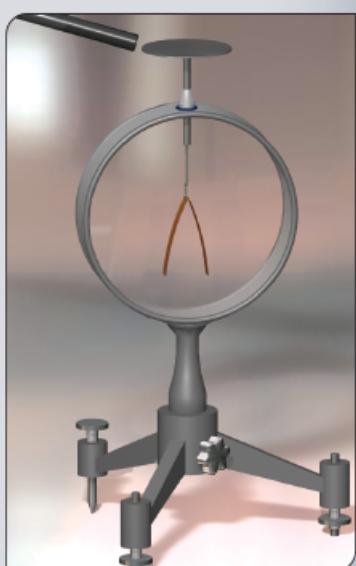
- електронеутрална тела
- електроскоп
- електрометар



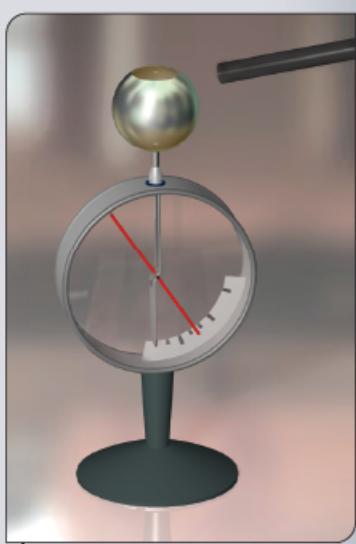
Atom хелијума сastoји сe од два електрона, два протона и два неутрона, па је зато електронеутралан.



## МЕРЕЊЕ НАЕЛЕКТРИСАЊА



Електроскоп



Електрометар

**ПОДСЕЋАЊЕ**  
Истоимена наелектрисања су наелектрсања истог, а разноимена су супротног знака.

Инструменти који мере наелектрисање предмета конструисани су на основу вами познатог принципа – да се разноимено наелектрисана тела привлаче, а истоимено наелектрисана одбијају.

Електроскоп чине стаклени суд и метални штапић који на једном крају најчешће има металну куглу, а на другом два танка метална листића. Да би ови листићи били што лакши, најчешће се праве од алуминијумске фолије. Метална кугла се обично налази изван стакленог суда, док су листићи унутар њега.

Ако негативно наелектрисано тело додирне металну куглу електроскопа, дођи ће до прерасподеле наелектрисања, кугла и са њом повезани листићи ће се наелектрисати супротним наелектрисањем од оног на телу. Оба листића добијају исту врсту наелектрисања и почињу да се одбијају. На тај начин можемо да утврдимо да ли је тело којим смо додирнули електроскоп било наелектрисано.

Када бисмо потом куглу електроскопа додирнули телом које је наелектрисано исто као и прво, листићи би се још више размакли. Уколико би, међутим, друго тело имало супротно наелектрисање, листићи би се примакли један другом.

Приметите да електроскоп само показује да је тело наелектрисано, али нам не говори ништа о томе колико је то наелектрисање. Уколико бисмо уместо листића поставили танку казаљку и калибрисану скalu, онда бисмо могли да меримо колико је то наелектрисање. Инструмент који је на овај начин конструисан зове се електрометар.

- Колику количину наелектрисања носи електронеутрално тело?
- Од ког материјала се праве кугла и листићи електроскопа?
- Ако се листићи електроскопа размакну кад куглу дотакнемо позитивно наелектрисаним штапићем, шта би се додило са листићима када бисмо куглу дотакли штапићем који је негативно наелектрисан?



# УЗАЈАМНО ДЕЛОВАЊЕ НАЕЛЕКТРИСАНИХ ТЕЛА

## КУЛОНОВ ЗАКОН

Огледи показују да је сила између два наелектрисана тела која мирују већа што су веће количине наелектрисања на тим телима. Да се супротна наелектрисања привлаче, а иста одбијају, то смо већ утврдили. Такође, примећено је да је сила између два тела све слабија, што је растојање између њих веће. Ова сазнања су била довољна да се математички формулише узајамни однос поменутих величина.

Француски научник **Шарл Кулон** мерио је јачину сile ( $F$ ) за познате вредности количине наелектрисања првог и другог тела ( $q_1$  и  $q_2$ ) и њихово међусобно растојање ( $r$ ).

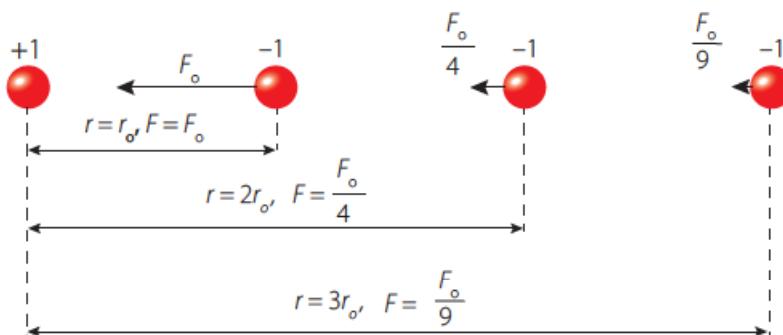
Утврдио је да се њихов међусобни однос може описати формулом:

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

$q_1$  – количина наелектрисања првог тела,  
 $q_2$  – количина наелектрисања другог тела,  
 $r$  – њихово међусобно растојање.

Ова формула, односно узајамна веза количина наелектрисања, растојања и сile назива се Кулонов закон.

**Кулонов закон гласи:** Интензитет сile узајамног привлачења или одбијања два тачкаста наелектрисања – сразмеран је производу количина наелектрисања, а обрнуто сразмеран квадрату њиховог међусобног растојања.



Интензитет сile опада са квадратом растојања



Кулонов закон

- електростатичка сила
- тачкасто наелектрисање

Приметите да у формули за интензитет силе постоји константа  $k$ . Она је карактеристика средине у којој се наелектрисања налазе. У вакууму и ваздуху има приближно исту вредност:

$$k = 9,0 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}.$$

Вредност коју ова константа има у вакууму називамо **Кулонова константа**.

У срединама са већом густином вредност константе  $k$  је значајно мања. У табели су дате вредности константе  $k$  за неке материјале.

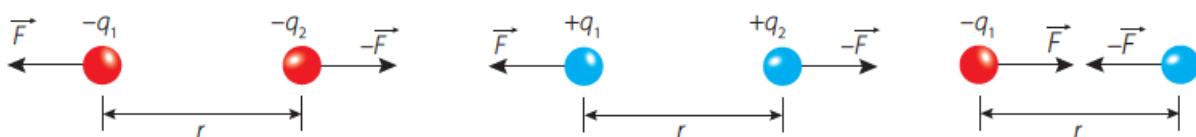
СРЕДИНА	ВРЕДНОСТ КОНСТАНТЕ $K \left[ \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right]$
ваздух	$9,0 \cdot 10^9$
вода	$1,1 \cdot 10^8$
стакло	$1,5 \cdot 10^9$
пластика	$2,6 \cdot 10^9$

Вредности Кулонове константе у различитим срединама

Сила коју смо дефинисали Кулоновим законом, назива се **електростатичка сила** – пошто говори о сили којом делују наелектрисања која мирују. Такође, чести називи за исту силу су и **Кулонова или електрична сила**.

Кулонов закон претпоставља да су наелектрисана тела занемарљиво мала у односу на њихово међусобно растојање. Због тога је теже израчунати интензитет силе за већа наелектрисана тела. Она наелектрисана тела чију величину можемо да занемаримо називају се **тачкаста наелектрисања**.

Кулонова сила између два наелектрисана тела делује истим интензитетом на оба тела. Она увек делује дуж правца који спаја та тела. Смер сile зависи од врсте наелектрисања. Ако су наелектрисања истог знака, тела се одбијају, а ако су различитог знака, привлаче се.



а) Два негативна наелектрисања се одбијају.

б) Два позитивна наелектрисања се одбијају.

в) Једно негативно и једно позитивно наелектрисање се привлаче.  
Обратите пажњу да су сile супротног смера.

Деловање Кулонове сile


**ЗАДАТАК**

Два тачкаста наелектрисања налазе се у вакууму.

Наелектрисање првог наелектрисања је  $q_1 = 5 \cdot 10^{-6}$  C, а другог  $q_2 = 4 \cdot 10^{-6}$  C. Растојање између наелектрисања је  $r = 10$  cm.

a) Колики је интензитет сile којом делују ова два наелектрисања?

b) Да ли је ова сила привлачна или одбојна?

**ПОЗНАТИ ПОДАЦИ**

$$q_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 10 \text{ cm} = 10 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

$$F = ?$$

**РЕШЕЊЕ**

$$\text{a)} F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6} \text{ C} \cdot 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{(1 \cdot 10^{-1} \text{ m})^2}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{20 \cdot 10^{-12}}{10^{-2}} \cdot \frac{\text{Nm}^2 \text{C}^2}{\text{m}^2 \text{C}^2}$$

$$F = 180 \cdot 10^{-1} \text{ N} = 18 \text{ N}$$

б) Пошто су оба наелектрисања позитивна, сила је одбојна.


**САЗНАЈ ВИШЕ**

Утврђивање формуле која описује законитости између физичких величина није једноставно.

- Потребно је уочити зависност на нивоу појаве и појаву описати речима.
- Потребно је да имамо начин прецизног мерења тих физичких величина, како бисмо добили бројне вредности за сваку од њих.

Тада покушавамо да нађемо најједноставнију математичку зависност између физичких величина. Ова математички формулисана претпоставка се назива **хипотеза**.

Да ли је та претпоставка довољно добра и под којим све условима важи, то можемо да утврдимо само **експериментима**. Када се огледи изводе у контролисаним условима и када сваку од ових величина пажљиво меримо, огледи постају експерименти. На тај начин проверавамо да ли је хипотеза исправна или не.

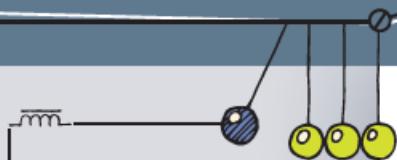
Уколико се формула која математички описује природну појаву покаже као поуздана, наука ће је коначно прихватити. Неке од тих формулe су толико поуздане и важне да их научна заједница назове – **природним законима**. Кулонов закон је један од њих.



• Од чега зависи смер електростатичке сile?

- У којој средини је интензитет сile између два тачкаста наелектрисања највећи?
- Ако је интензитет сile између два тачкаста наелектрисања  $F_0$ , колики ће бити интензитет сile ако наелектрисања примакнемо на растојање десет пута мање од првобитног?

# ЕЛЕКТРИЧНО ПОЉЕ



- електрично поље
- јачина електричног поља
- линије сила електричног поља
- хомогено електрично поље

Материју чине супстанца и физичко поље. Док супстанцу чине честице материје, поље је својство простора које одређује како би те честице деловале на тело у било којој тачки тог простора.

Електрично поље је својство простора које одређује деловање наелектрисања на тела у било којој тачки тог простора. Колико је то пољејако и у ком правцу делује, зависи од количине и распореда наелектрисања у простору.

Електрично поље постоји у свакој тачки простора без обзира на то да ли у њој постоји друго тело на које би поље деловало. Електрична сила се јавља тек када у ту тачку унесемо и друго наелектрисано тело. Електрично поље које ствара једно тачкасто наелектрисање у одређеној тачки простора једнака је Кулоновој сили која би у тој тачки деловала на друго тачкасто наелектрисање са количином наелектрисања 1 кулон (јединично наелектрисање).

Ако на наелектрисање  $q$  делује електростатичка сила  $F$ , онда је јачина електричног поља  $E$  у тој тачки бројчано је једнако количнику силе  $F$  и наелектрисања  $q$ .

$$E = \frac{F}{q}.$$

Иако је јачина електричног поља векторска величина нас често интересује само њен интензитет у одређеној тачки простора.

Јачина електричног поља у одређеној тачки је скаларна величина која зависи од наелектрисања извора поља, растојања те тачке од извора поља и карактеристика средине. Да бисмо за конкретно наелектрисање ( $Q$ ) израчунали јачину поља на одређеном растојању ( $r$ ), потребно је да израчунамо вредност сile за јединично наелектрисање ( $q = 1 \text{ C}$ ) на том месту. Када израз за Кулонову силу  $F = k \frac{Qq}{r^2}$  поделимо са  $q$ , добићемо  $\frac{F}{q} = k \frac{Q}{r^2}$ , односно:

$$E = k \frac{Q}{r^2}.$$

Мерна јединица јачине електричног поља је:  $\frac{N}{C}$   
(чита се: „њутн по кулону“).

## ПОДСЕЋАЊЕ

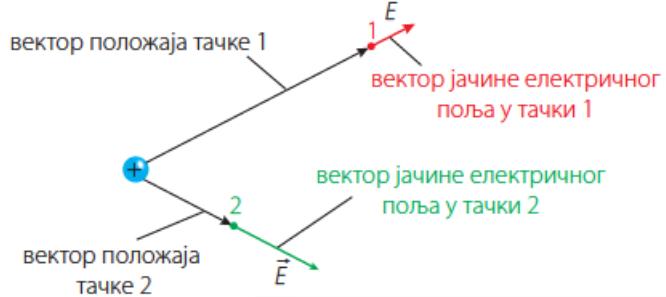
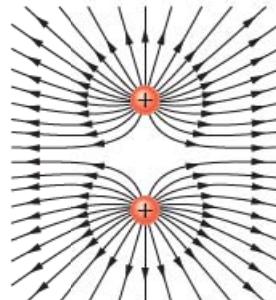
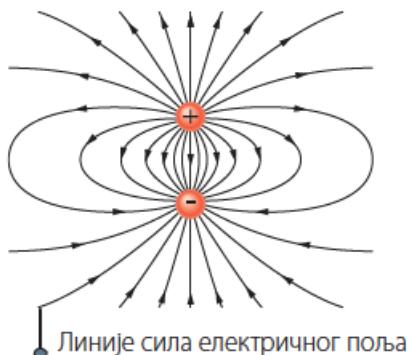
Обратите пажњу да јачину електричног поља означавамо са  $E$ , како најчешће означавамо енергију. Немојте их помешати, то нису исте физичке величине.

Ово је други облик формуле за израчунавање јачине електричног поља. Приметите да је свеједно за које смо наелектрисање  $q$  израчунали Кулонову силу, јер се при дељењу са  $q$  ове вредности скраћују. Јачина електричног поља у некој тачки простора не зависи од тога колико смо наелектрисање ту поставили.

Поред интензитета, јачина електричног поља одређена је правцем и смером. Правац јачине електричног поља тачкастог наелектрисања радијално се шири. Смер вектора јачине електричног поља позитивних наелектрисања иде од наелектрисања у простор. Код негативних наелектрисања смер иде из простора ка наелектрисању, као што је приказано на слици Линије сила електричног поља.

**Радијално симетричне поља** представљају идеалан случај где постоји само једно тачкасто наелектрисање. Уколико постоји више наелектрисања, свако од њих ствара своје поље и јачина поља која се осећа у одређеној тачки простора је комбинација свих тих поља. Да би се такво поље лакше графички представило, уведен је појам **линије сила електричног поља**. То је крива линија која показује правац и смер деловања електричне сile на позитивно тачкасто наелектрисање које би се нашло на тој линији. Линије сила се никада не секу. На местима где је јачина поља већа, линије сила су гушће. На местима где је јачина поља слабија, густина линија сила је мања.

На слици испод приказано је како би изгледале линије сила за два наелектрисања у два случаја: када су наелектрисања супротног знака и када су истог знака.

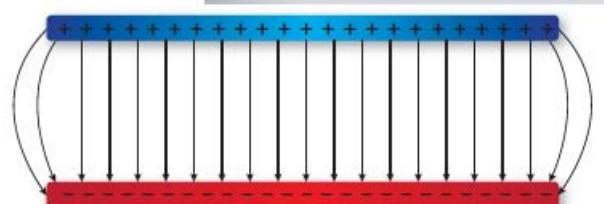


Појам радијалне симетрије сретали сте у вашем школском предмету Биологија. Неки бескичмењаци, попут морског јежа или биљке као што је маслачак, имају приближно такву симетрију. Изгледа као да све јежеве бодље на скелету морског јежа крећу из исте тачке. Слично томе се шире и линије поља тачкастог наелектрисања.

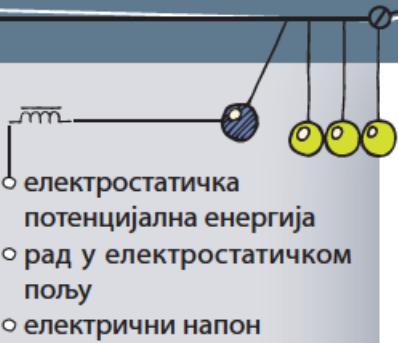


Важан пример електричног поља је **хомогено електрично поље**. Такво поље настаје између две паралелне плоче, при чему је једна плоча позитивно, а друга негативно наелектрисана. Линије сила су међусобно паралелне, што значи да је јачина електричног поља иста у свим тачкама између плоча. Обратите пажњу да је хомогено поље идеализација која подразумева да су димензије плоча много веће од размака између њих. Близу ивица плоча линије сила почињу да скрећу и праве лукове.

- Одакле извире линије сила електричног поља?
- Како се јачина електричног поља мења са растојањем?
- У каквом су међусобном односу линије сила хомогеног електричног поља?



Хомогено електрично поље



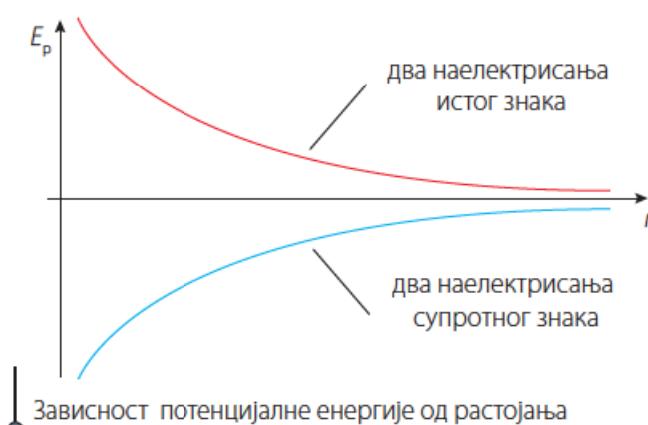
# ПОТЕНЦИЈАЛНА ЕНЕРГИЈА ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА

Слично као у гравитационом пољу, потенцијалну енергију тела можемо да израчунамо и у електричном пољу. Рад на савладавању електричне сile се, исто као код гравитационе, огледа у томе колико се променила потенцијална енергија тела.

Свако тело у електричном пољу има **електростатичку потенцијалну енергију** која зависи од његовог наелектрисања и расстојања. Електростатичка потенцијална енергија дата је формулом:

$$E_p = k \frac{Qq}{r}$$

**Q** – наелектрисање које ствара поље,  
**q** – наелектрисање чију потенцијалну енергију одређујемо,  
**r** – њихово међусобно растојање,  
**k** – Кулонова константа.



**САЗНАЈ ВИШЕ**

За разлику од гравитационе потенцијалне енергије која је све већа што се масивна тела више удаљавају, код Кулонове силе то важи само за супротно наелектрисана тела јер се она привлаче. Уколико су наелектрисања истог знака, онда се одбијају и електростатичка потенцијална енергија је све мања – што су тела више удаљена.

Ако су наелектрисања **Q** и **q** истог знака, потенцијална енергија је позитивна и смањује се са повећањем растојања између ових наелектрисања. Обрнуто, ако су наелектрисања супротног знака, потенцијална енергија је негативна и повећава се са растојањем. Без обзира на то да ли су наелектрисања истог или супротног знака, када се наелектрисано тело бесконачно удаљава од извора поља, његова електростатичка потенцијална енергија тежи нули.

Када померамо тело из једне тачке поља у другу, **рад сile електричног поља** (**A**) једнак је производу силе и пређеног пута у правцу те силе.

Рад сile електричног поља одговара разлици потенцијалних енергија у почетној ( $E_{p1}$ ) и крајњој ( $E_{p2}$ ) тачки:

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

# ЕЛЕКТРИЧНИ НАПОН

Разлика потенцијалних енергија између крајње и почетне тачке при кретању тела у електричном пољу – пропорционална је количини наелектрисања тог тела. Физичка величина која представља однос разлике потенцијалних енергија и количине наелектрисања назива се **електрични напон**. Ову величину обележавамо са  $U$ .

Како је рад сile електричног поља ( $A$ ) једнак разлици потенцијалних енергија у почетној и крајњој тачки, формулу за рад можемо да запишемо и на следећи начин:  $A = q \cdot U$ , при чему је  $q$  – количина наелектрисања, а  $U$  – напон.

**Електрични напон** између две тачке електричног поља бројчано је једнак количнику рада сile електростатичког поља при премештању наелектрисања из почетне у крајњу тачку и тог наелектрисања.

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

Мерна јединица за електрични напон је **волт** (**V**). Један волт је бројчано једнак количнику јединице за енергију (**џул**) и јединице за количину наелектрисања (**кулон**):  $1V = \frac{1J}{1C}$ .

Ако се при премештању тела са наелектрисањем 1 кулон из једне у другу тачку изврши рад од 1 џула, онда између те две тачке постоји електрични напон од 1 волта.



## САЗНАЈ ВИШЕ

Научници са швајцарског института ЕМПА (EMPA) претворили су 2020. године дрво у малог производија електричне енергије, тј. микрогенератор. Уочили су да се, када је дрво оптерећено, ствара електрични напон.

Да би производили електричну енергију из дрвета, материјал мора да користи такозвани пиезоелектрични ефекат. Пиезоелектричност значи да се електрични напон ствара еластичном деформацијом чврстих тела.

Како се материјал сабија под механичким напрезањем, позитивно и негативно наелектрисање одваја се на супротним површинама, стварајући напон када дође до њиховог спајања.

Овај ефекат би, према проценама научника, могао да се користити и за одрживу производњу енергије. Међутим, дрво мора прво да стекне одговарајућа својства. Без посебног третмана дрво није довољно флексибилно када је изложено механичком напрезању, и због тога се у процесу деформације ствара само врло низак електрични напон.





## Електростатички потенцијал

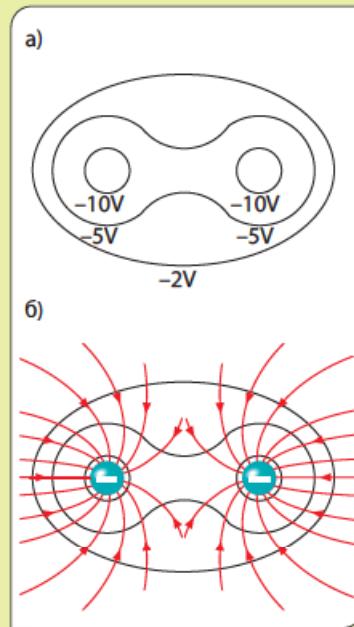
Потенцијална енергија тела у одређеној тачки поља пропорционална је количини наелектрисања тог тела. Количник електростатичке потенцијалне енергије и количине наелектрисања називамо **електростатички потенцијал**. Ова физичка величина у некој тачки поља, слично као и јачина електричног поља, не зависи од количине наелектрисања које се ту налази. Електростатички потенцијал је скаларна величина. Обележава се грчким словом „фи“ ( $\varphi$ ). Формула за електростатички потенцијал је:

$$\varphi = \frac{Ep}{q}$$

$Ep$  – електростатичка потенцијална енергија,  
 $q$  – количина наелектрисања

Свака тачка у електричном пољу има своју вредност потенцијала. Ако је извор поља једно тачкасто наелектрисање, онда све тачке на истом растојању од извора поља имају исту вредност електричног потенцијала. Зато области са истим потенцијалом – **еквипотенцијалне површи** – на цртежу изгледају као концентрични кругови. Уколико је поље сложеније, онда еквипотенцијалне површи добијају сложенији облик. На првој слици је приказано поље око два негативно наелектрисана тела. Затворене криве линије приказују тачке електричног поља са истим потенцијалом. На другој слици су приказане линије сила за иста та два наелектрисања. Приметите како су линије сила увек нормалне на еквипотенцијалне површи.

Електрични напон између две тачке у електричном пољу једнак је разлици електричног потенцијала за те две тачке:  $U = \Delta\varphi$ . Због тога се термини разлика потенцијала и напон користе као синоними.



а) Еквипотенцијалне површи  
 б) Еквипотенцијалне површи и линије сила

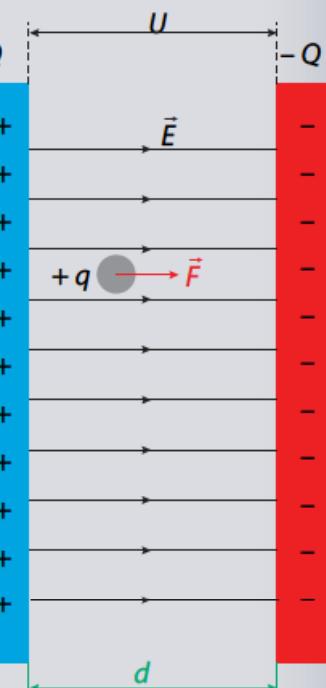
## ВЕЗА НАПОНА И ЈАЧИНЕ ХОМОГЕНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОЉА

Како што је већ речено електрично поље између две паралелне наелектрисане плоче је хомогено. Нека су плоче наелектрисане супротим наелектрисањима или су им укупне количине наелектрисања једнаке. Напон између плоча је  $U$  и нека је растојање између плоча једнако  $d$ , као што је приказано на слици. Нека се између плоча налази, на пример позитивно, наелектрисана куглица ( $+q$ ). Због тога што се налази у електричном пољу на куглицу делује сила, која је усмерена исто као и вектор јачине електричног поља. Пошто је поље хомогено и сила која делује на наелектрисану куглицу је иста у свакој тачки.

$$F = q \cdot E$$

Сила на куглицу делује ка негативно наелектрисаној плочи. Да би тело прешло од позитивно до негативно наелектрисане плоче електрична сила изврши рад:

$$A = F \cdot d$$



Са друге стране, видели сте да рад при кретању наелектрисаног тела између тачака између којих је напон  $U$  једнак:

$$A = q \cdot U$$

Када израз за електричну силу уврстимо у израз за рад и изједначимо два израза за рад, добијамо:

$$q \cdot E \cdot d = q \cdot U$$

Из ове једнакости се добија веза између интензитета хомогеног електричног поља и напона између паралелних наелектрисаних плоча на међусобном растојању  $d$ :

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

**U** - напон између две тачке

**d** - растојање између две плоче

Добијена једначина нам показује и да мерна јединица за јачину електричног поља може да буде  $1 \frac{V}{m}$ .



ОГЛЕД

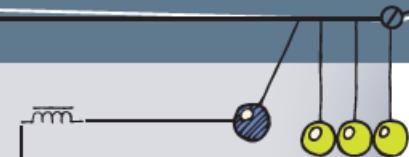
**МЕХУРИ ОД САПУНИЦЕ У ЕЛЕКТРИЧНОМ ПОЉУ:** Направите мехуриће од сапунице дувајте у њих у близини наелектрисаног тела, нпр. пластичне шипке коју сте претходно истрљали вуненом крпом. Посматрајте како шипка привлачи или одбија мехуриће. Овако можемо да демонстрирамо понашање диелектричних објеката у електричном пољу.



- Како се електростатичка потенцијална енергија мења са растојањем између наелектрисања?
- Чему је једнака разлика потенцијалне енергије између почетне и крајње тачке при кретању тела у електричном пољу?
- Шта је електрични напон?

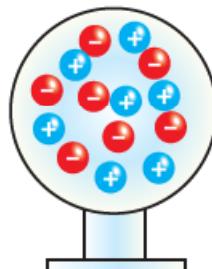
# ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЈАВЕ

- електростатичка индукција
- електрично пражњење
- муња
- громљавина
- ефекат шиљка
- громобран

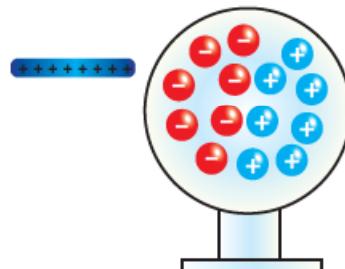


У огледима са наелектрисавањем стаклених или пластичних штапића можете да приметите како ти предмети привлаче или одбијају друге предмете који раније нису били наелектрисани. То, наизглед, не би требало да се догађа јер електрична сила не делује на електронеутрална тела. Међутим, ово је само делимично тачно јер електронеутрална тела не морају да буду неутрална у свим својим деловима. Ако се на једном делу електронеутралног тела накупи више негативног наелектрисања, на другом ће бити више позитивних и обратно. Иако је тело у целини електронеутрално, поједини делови могу да буду наелектрисани.

Када позитивно наелектрисаним штапићем приђемо ненаелектрисаном металном телу, на том телу долази до прерасподеле наелектрисања. Негативна наелектрисања се крећу ка оном делу тела које је најближе позитивно наелектрисаном штапићу, док на другом крају остају позитивна наелектрисања у вишку. Ова појава се назива **електростатичка индукција**.



а) На кугли има и позитивних и негативних наелектрисања



б) Позитивна и негативна наелектрисања су се раздвојила

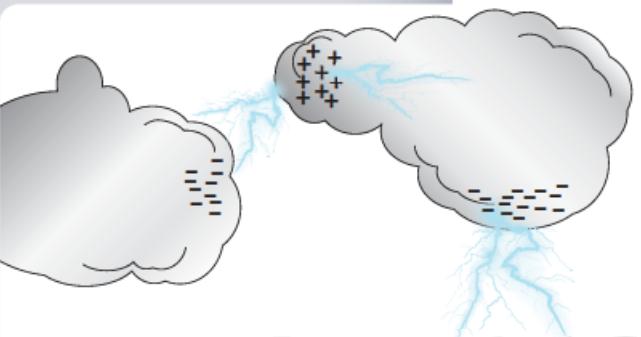
Наелектрисавање тела индукцијом

**САЗНАЈ ВИШЕ**

Понекад се у народу муња и гром друкчије објашњавају него што је то у овој књизи. По тој подели муња је електрично пражњење између два облака, а гром је између облака и тла.

Објашњење дато у овој књизи је уобичајено.

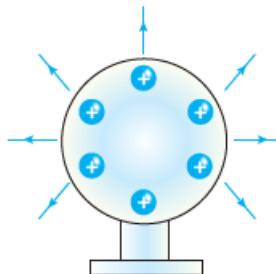
Наелектрисани облаци индукцијом наелектришу друге облаке или објекте на земљи изнад којих пролазе. Овако накупљено наелектрисање ствара врло висок напон између облака или између облака и земље – чак неколико милиона волти. Уколико јачина овако створеног електричног поља пређе критичну границу, долази до пражњења. Електрично пражњење је процес у којем електрони с тела на којем их има више прелазе на друго тело где има више позитивних јона. Тако се прерасподељује наелектрисање смањујући вишак електрона на једном и вишак јона на другом телу. Пражњење ствара варнице које се виде као севање током олује. Електрично пражњење између два облака или облака и тла, назива се **муња**. Прасак који се при томе чује, назива се **грмљавина**.



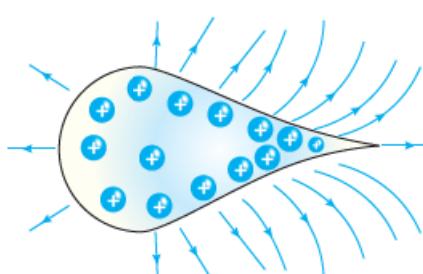
Електрично пражњење између облака и тла



Ако је наелектрисано тело шпицасто или има оштре ивице, електрично поље око оштих делова биће много јаче него на другим деловима наелектрисаног тела. Ова појава назива се ефекат шилька.



a) Линије сила нису густо распоређене.



b) Линије сила су густо распоређене код шилька, па је зато електрично поље у том месту јако.

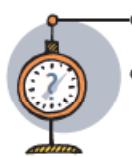
#### Ефекат шилька

Пошто је у близини шилька пољеовољно јако да развоји атоме на јоне и електроне, ту је ваздух више јонизован. Јонизовани ваздух око шилька може да изазове електрично пражњење између шилька и околног ваздуха. Ово је нарочито уочљиво непосредно пре олује, када је ваздух већ јонизован. Због тога се дешава електрично пражњење између шилька и околног ваздуха које се може видети као плавичаста светлост. Та светлост често се назива „**Ватра Светог Елма**“.

Електрично пражњење између облака, или између облака и земље, чини да се ваздух око варнице нагло греје и због тога врло брзо шире. Брзо ширење ваздуха ствара карактеристичан звук пуцања који називамо **грмљавина**.

Муња углавном удара у висока стабла, планинске врхове или грађевине. Приликом удара муње у објекте на земљи, ослобађа се изузетно велика количина енергије. Ако удари у зграду, муња може да изазове људске жртве, да начини велику штету и изазове пожар. Да би се то спречило, високи објекти, по правилу, имају **громобран**.

Први громобран је направио **Бенџамин Френклин** још у XVIII веку. Он је гвоздени шильак поставио на врх крова и жицом га повезао са земљом. На тај начин је наелектрисање, које би приликом удара грота доспело до шипке, било безбедно спроведено у земљу. Принцип рада громобрана и данас је исти, само су материјали другачији.



- Шта је електрично пражњење?
- Како електронеутрална тела делују на негативно наелектрисање у својој близини?
- Шта се дешава са вишком наелектрисања који при удару грота у громобран?



Ватра Светог Елма



Громобран

#### САЗНАЈ ВИШЕ

Осим наелектрисавања путем трења или зрачења које смо помињали, постоје и други хемијски или биолошки процеси у којима долази до наелектрисавања тела, прерасподеле наелектрисања и електричног пражњења. Постоје чак и животиње које су способне да користе електрично пражњење за одбрану од предатора или напад.



## САЖЕТАК

- Количина наелектрисања је физичка величина која показује колико је неко тело наелектрисано.
- Мерна јединица за количину наелектрисања је кулон (C).
- Елементарно наелектрисање обележавамо са  $e$  и оно износи  $1,602 \cdot 10^{-19}$  C. Протон има наелектрисање  $+e$ , а електрон  $-e$ .
- Електронеутрална тела су тела која се састоје од истог броја позитивних и негативних честица.
- Електрометар је уређај којим можемо да утврдимо количину наелектрисања тела.
- Тачкаста наелектрисања су наелектрисана тела чија је свака димензија (дужина, ширина и висина) много мања од растојања између тела.
- Кулонов закон дефинише силу којом узајамно делују два тачкаста наелектрисања.
- Формула за силу, по Кулоновом закону, гласи:

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

- Електрично поље је својство простора које одређује деловање наелектрисања на тела у било којој тачки тог простора.
- Јачина електричног поља једнака је сили којом би електростатичко поље деловало на јединично наелектрисање.
- Хомогено електрично поље је поље које има исту јачину у свим тачкама простора.
- Електростатичка потенцијална енергија је енергија коју наелектрисано тело има када се нађе у електричном пољу.
- Рад сile електричног поља је рад који изврши електрично поље при померању наелектрисања.
- Електрични напон бројчано је једнак количнику рада сile електричног поља и количине наелектрисања.
- Мерна јединица за електрични напон је волт (V).
- Електростатичка индукција је појава раздавања наелектрисања неутралног тела.
- Електрично пражњење је појава преласка вишког електрона на тело где има више позитивних наелектрисања.



## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Шта је количина наелектрисања?
2. Која је мерна јединица за количину наелектрисања?
3. Шта се дешава када два тела наелектрисана истим врстама наелектрисања приближимо једно другом?
4. Шта се дешава када два тела наелектрисана различитим врстама наелектрисања приближимо једно другом?
5. Шта је електроскоп и како он ради?
6. Шта је елементарно наелектрисање?
7. Колику количину наелектрисања има један електрон?
8. Од чега зависи интензитет електростатичке сile?
9. Како цртамо електрично поље тачкастог негативног наелектрисања?
10. Како цртамо електрично поље тачкастог позитивног наелектрисања?
11. Шта је хомогено електрично поље?
12. Чему је једнак рад при премештању наелектрисања у електричном пољу?
13. Шта је муња, а шта грмљавина?
14. Зашто се пластични штап наелектрише негативно кад га протрљамо крznеним предметом?
  - a) Крзно предаје протоне пластичном штапу.
  - б) Пластични штап предаје електроне ваздуху.
  - в) Крзно прима протоне од пластичног штапа.
  - г) Пластични штап прима електроне од крзна.
15. Шта се догађа када неутрална стаклена шипка дотакне позитивно наелектрисану металну куглу?
  - a) Негативна наелектрисања прелазе с кугле на стаклену шипку.
  - б) Негативна наелектрисања прелазе са стаклене шипке на куглу.
  - в) Позитивна наелектрисања прелазе с кугле на стаклену шипку.
  - г) Позитивна наелектрисања прелазе са стаклене шипке на куглу.
16. На слици је приказан негативно наелектрисан штап који се приближава ненаелектрисаној металној лопти. На којој је слици исправно приказано како се наелектрисање на лопти распоређује?



а)



б)



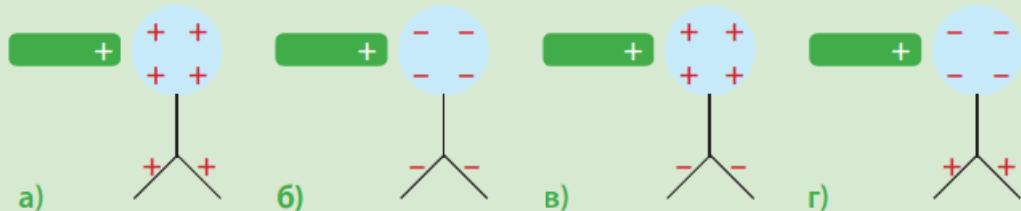
в)



г)



17. Позитивно наелектрисан штапић постављен је у близину главе електроскопа. На којој је од понуђених слика најбоље представљена расподела наелектрисања на електроскопу?



18. На ком је, од приказаних дијаграма, привлачна сила између два наелектрисања најјача?



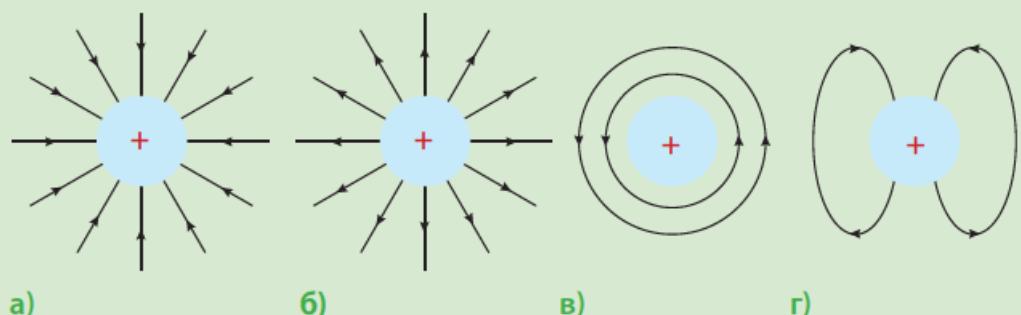
19. Ако се растојање између два наелектрисања различитог знака повећа три пута, шта ће се дододити са електростатичком силом која делује између њих?

- а) Повећаће се девет пута.    б) Повећаће се три пута.  
в) Смањиће се три пута.    г) Смањиће се девет пута.

20. Од чега не зависи интензитет Кулонове силе између два тачкаста наелектрисана тела?

- а) Од њиховог наелектрисања.  
б) Од њихових маса.  
в) Од њиховог међусобног растојања.  
г) Од својства средине у којој се налазе.

21. На којој је слици на најбољи начин приказано електрично поље у близини позитивно наелектрисане проводне сфере?



22. Два тачкаста наелектрисања налазе се на међусобном растојању  $2r$  и међу њима делује електростатичка сила. Ако се растојање између њих повећа на  $5r$ , колики ће бити интензитет силе међу њима?

- a)  $1/25$  првобитног интензитета;      6)  $4/25$  првобитног интензитета;  
b)  $1/9$  првобитног интензитета;      г) 25 пута већи од првобитног интензитета.

23. Која је мерна јединица за напон између две тачке?

- a) волт;      6) љутн;      в) кулон;      г) ампер.

24. Колика је минимална количина наелектрисања којом неко тело може да буде наелектрисано?

- a)  $6,2 \cdot 10^{-23} C$ ;      6)  $1,6 \cdot 10^{-19} C$ ;      в)  $0,001 C$ ;      г)  $1 C$ .

25. Колико је наелектрисање електрона?

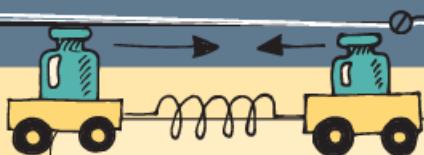
- a)  $+e$ ;      6)  $-e$ ;      в)  $1 C$ ;      г)  $-1 C$ .

26. Колико је укупно негативно наелектрисање свих електрона у једном молу воде (18 грама)?

- a) Нула, јер је вода електро неутрална;      6) Мање од једног кулона;  
в) 18 кулона;  
г) Приближно 1 000 000 кулона.

27. Шта су изолатори?

- a) Материјали који не могу да се наелектришу;  
б) Материјали који не проводе електричну струју;  
в) Материјали који поништавају електрично поље;  
г) Материјали у којима је електрични потенцијал нула.



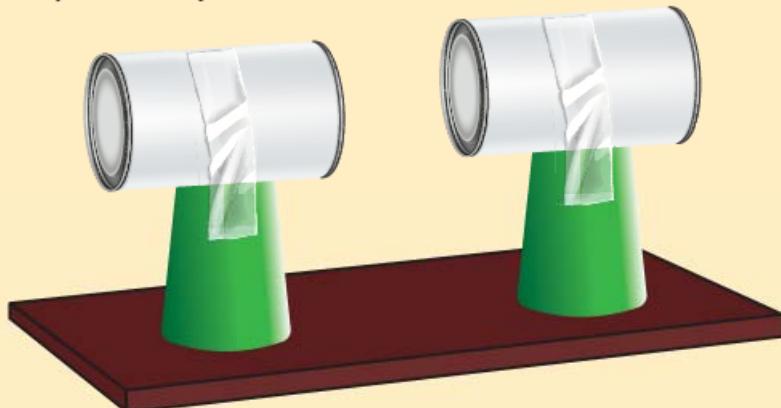
## ПРОЈЕКАТ – ПРЕНОШЕЊЕ НАЕЛЕКТРИСАЊА

**ЦИЉ ПРОЈЕКТА:** Испитивање који материјали проводе, а који не проводе наелектрисање.

**БРОЈ ЂАКА У ТИМУ:** три-четири

**Материјал за рад:** Више празних лименки, чаше од стиропора или картона, надувани балон, комад крзна (ако га имате у кући)..

**ТОК ПРОЈЕКТА:** Припрема за извођење огледа, мерења, обрада резултата, доношење закључака о појави.



- Лепљивом траком залепите лименке за дно чаше. Због стабилности би требало да контакт лименке и чаше буде на средини лименке. Онда поставите две чаше са лименкама на хоризонталну подлогу тако да се лименке додирују.
- Наелектришите балон. Можете да га протрљате комадом крзна, или ако то немате, можете да га трљате кроз косу. Приближите наелектрисани балон једном крају лименке, пажљиво, балон не би требало да додирне лименку.
- Одмакните балон и раздвојте лименке тако што ћете ухватити чаше и размакнути их. Пазите да не додирнете лименке.
- Треба да утврдите да ли су наелектрисане лименке. За то можете поново употребити балон. Смислите начин како бисте то извели.

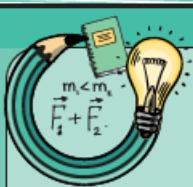
**ЗАКЉУЧАК:**

- Да ли су лименке наелектрисане?
- Да ли су лименке наелектрисане истом врстом наелектрисања?
- Поновите исти оглед са три лименке. Да ли је, и ако јесте, како је наелектрисана средња лименка после раздавања?
- Продискутујте закључке са осталим ученицима.



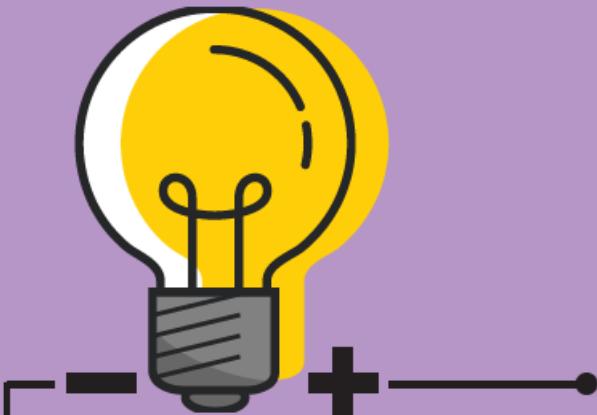
## ЗАДАЦИ

1. Колика је количина наелектрисања кугле, ако се на њој налази вишак од  $3 \cdot 10^9$  електрона?
2. Колико је електрона трењем уклоњено са стаклене шипке, ако је после трења наелектрисана количином наелектрисања  $8 \cdot 10^{-16} \text{ C}$ ?
3. Језгро уранијума се састоји од 92 протона и 146 неутрона. Израчунати наелектрисање овог језгра.
4. Колико електрона је потребно да би њихово укупно наелектрисање износило 1C?
5. Коликом силом међусобно делују наелектрисања од  $-3\text{C}$  и  $4\text{C}$ , која се налазе у вакууму на растојању од 2 m? Да ли је сила привлачна или одбојна?
6. Две куглице наелектрисане позитивно, количинама наелектрисања  $3\text{C}$  и  $5\text{C}$ , налазе се на међусобном растојању 30 см. Коликом силом међусобно делују? Да ли је сила привлачна или одбојна?
7. Две куглице наелектрисане количинама наелектрисања  $-4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  и  $+2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  налазе се у вакууму на растојању од 0,5 m. Израчунати силу којом та наелектрисања међусобно делују.
8. Две куглице наелектрисане истим количинама наелектрисања налазе се у вакууму на растојању 5 см. Израчунати коликом количином наелектрисања су наелектрисане ако се међусобно одбијају силом 90 N.
9. Како ће се променити сила узајамног деловања између наелектрисаних тела, ако се растојање између њих:
  - a) повећа 2 пута;
  - b) смањи 3 пута.
10. Две наелектрисане куглице се налазе у ваздуху на међусобном растојању  $r$ . Како ће се променити интензитет силе њиховог узајамног деловања ако се наелектрисање једне куглице повећа три пута? Како ће се променити интензитет силе ако се њихово растојање повећа три пута?
11. Колика и каква је сила узајамног деловања два електрона који се налазе на растојању од 1 m? Каква ће бити сила између електрона и протона под истим условима?
12. У некој тачки електричног поља на наелектрисање од  $2\text{C}$ , делује сила од 50 N. Колика је јачина електричног поља у тој тачки?
13. Коликом силом делује електрично поље, јачине  $3 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ , на тело наелектрисано количином наелектрисања  $0,5 \text{ mC}$ ?
14. Одредите јачину електричног поља на удаљености 4 m од куглице наелектрисане негативно, количином наелектрисања  $-8 \text{ C}$ . Какав смер има електрично поље?

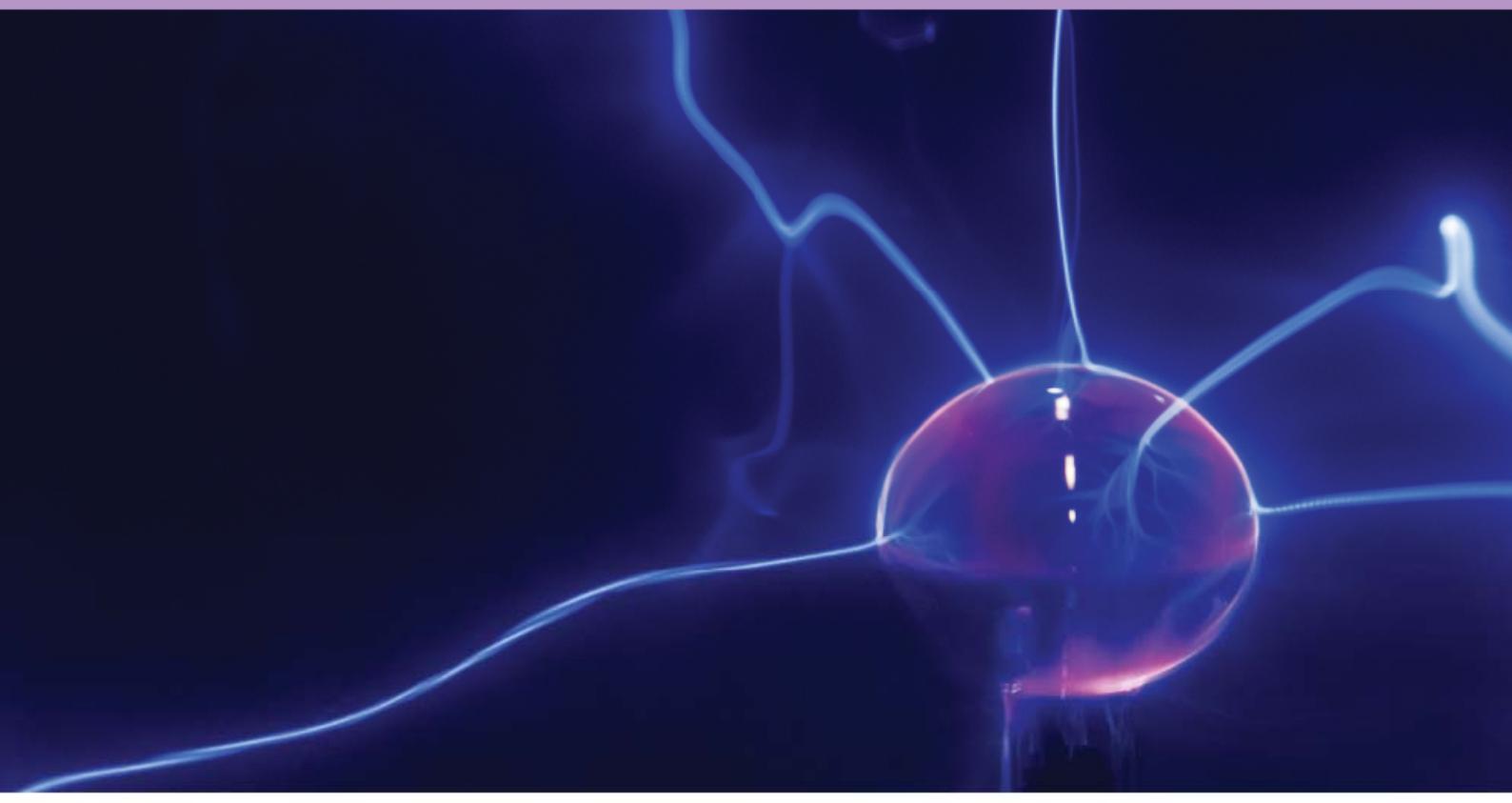


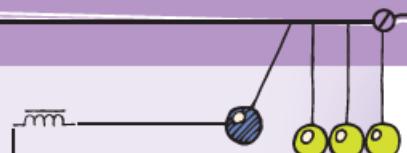
15. Одредите јачину електричног поља на удаљености 50 cm од куглице наелектрисане позитивно, количином наелектрисања  $15 \mu\text{C}$ . Какав смер има електрично поље?
16. Колика је јачина електричног поља које формира протон у тачки која се налази на растојању 4 mm од њега?
17. Колика је јачина електричног поља у тачки која се налази на растојању 20 cm од наелектрисања  $4 \mu\text{C}$ ? Коликом силом ово електрично поље делује на наелектрисање  $-3 \mu\text{C}$  које се налази у тој тачки?
18. Колики је напон између две тачке електричног поља чији су потенцијали  $10 \text{ V}$  и  $-20 \text{ V}$ ?
19. Електростатичка потенцијална енергија тела које се налази у тачки A је  $30 \text{ J}$ . Приликом премештања овог тела из тачке A у тачку B извршен је рад од  $5 \text{ J}$ . Колика је електростатичка потенцијална енергија у тачки B?
20. Колика је разлика потенцијала између тачака A и B, ако је за премештање количине наелектрисања од  $2 \text{ C}$  потребан рад од  $10 \text{ J}$ ?
21. Разлика потенцијала између тачака A и B је  $6 \text{ V}$ . Колики рад се изврши приликом премештања количине наелектрисања од  $2 \text{ C}$  из једне у другу тачку?
22. Електрични потенцијали тачака A и B су  $3 \text{ V}$  и  $9 \text{ V}$ . Колики рад је потребан за премештање количине наелектрисања од  $3 \text{ C}$  из тачаке A у B?
23. За премештање количине наелектрисања од  $5 \text{ C}$  из једне у другу тачку електричног поља потребан је рад од  $20 \text{ J}$ . Колика је разлика потенцијала између те две тачке? Колики рад би требало извршити приликом премештања количине наелектрисања од  $20 \text{ C}$  између ове две тачке?

# ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА



У овом поглављу упознаћете се са електричном струјом, физичким величинама које је карактеришу и историјатом открића која су омогућила да разумемо њена своства. Појава усмереног кретања наелектрисања или електричне струје (како ову појаву другачије називамо), била је инспирација за небројено много иновација. Можемо слободно рећи да је примена електричне струје потпуно променила начин живота људи.



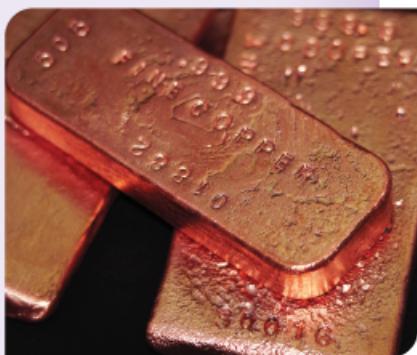


- електрична струја
- проводници
- изолатори
- носиоци наелектрисања

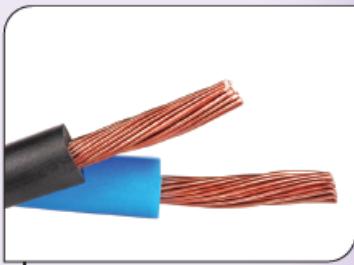
# ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА

Појава кретања наелектрисаних честица у истом смеру – назива се **електрична струја**. Наелектрисања могу да се крећу кроз разне материјале. Најлакше се крећу кроз метале. Наелектрисања могу да се крећу усмерено кроз неке течности, односно, растворе у којима јони преносе наелектрисање, као и кроз гасове. Кроз материјале као што су керамика или стакло – електрони се не крећу усмерено. Материјале који омогућавају усмерено кретање наелектрисања – називамо **проводници**. Оне друге, који не проводе наелектрисање, називамо **изолатори**. Између ове две крајности су материјали који нису посебно добри ни као проводници ни као изолатори, док неки од њих могу и да мењају своја електропроводна својства.

Електричну струју преносе наелектрисане честице које могу да се крећу. Њих називамо **носиоцима наелектрисања**. Најчешће су носиоци наелектрисања **елекtronи** и **јони**. Електрони се, у металима, лако одвајају од атома, и могу слободно да се крећу кроз тај проводник. Због тога су метали одлични проводници, али и неке друге чврсте супстанце могу да проводе струју – графит, на пример. Што је већи број електрона слабо везаних за атоме, то је материјал бољи проводник. Међу металима, најбољи проводници су сребро, бакар и злато. Носиоци наелектрисања кроз течности нису електрони – већ јони. Због тога су најбољи проводници водени раствори соли, база и киселина у којима се појављују позитивни и негативни јони. Овакве течности се називају **електролитима**.

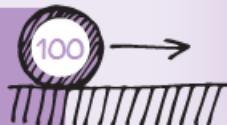


Бакар, сребро и злато су добри проводници



Жица с изолацијом

Материјале који не проводе електричну струју називамо изолаторима. Основно њихово својство је да спречавају пролаз електричне струје. Због тога се изолатори користе да обезбеде електричне уређаје. Жице које се користе као проводници облажу се изолационим материјалом, како би руковање жицом било безбедно. Познати примери изолатора су: пластика, стакло, керамика, папир и дрво. Дестилована вода и сув ваздух су, такође, изолатори. Уколико изолациони материјал постане влажан, што може да буде случај са дрветом или папиром, онда он губи изолациона својства.





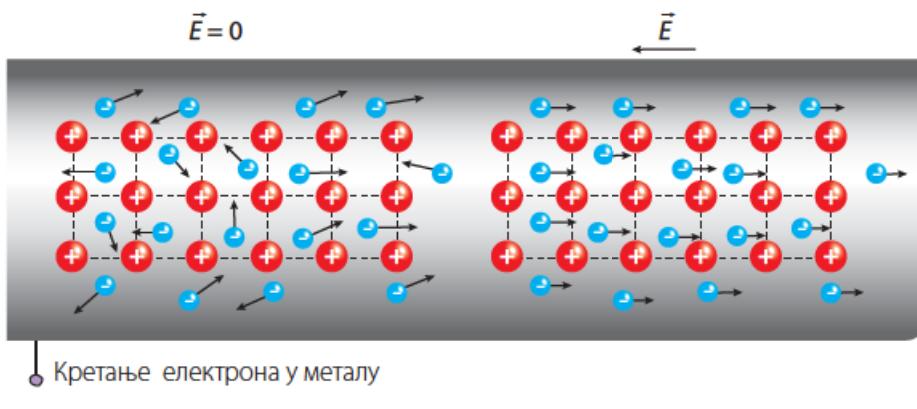
### САЗНАЈ ВИШЕ

Поред проводника и изолатора, постоје и **полупроводници**. Полупроводници су материјали који имају неке особине проводника и неке особине изолатора. Особине полупроводника зависе од услова у којима се налазе и нечишћоћа које имају. Полупроводници имају врло широку примену у електроници. Они се користе за прављење електронских компоненти које проводе струју само у једном смеру (диоде), за појачавање сигнала и сензоре температуре, осветљења итд. Најпознатији полупроводници су силицијум и германијум, као и њихова једињења.

## УСМЕРЕНО КРЕТАЊЕ ЕЛЕКТРОНА

Уколико нема спољашњег електричног поља, кретање електрона је неуређено. Тада се сваки електрон у металу креће независно од осталих. Такво кретање не сматрамо електричном струјом.

Када се успостави електрично поље, електрони почињу да прате правац линија поља и да се крећу. Пошто су електрони негативно наелектрисани, крећу се у правцу и смеру линија сила електричног поља који је супротан смеру електричног поља. Да би се електрони у металу покренули, довољно је сасвим слабо електрично поље. Тако добијамо усмерено кретање електрона. При томе се не крећу сви електрони паралелно и најкрајим могућим путањама, али је доминантно кретања електрона које води ка извору поља.



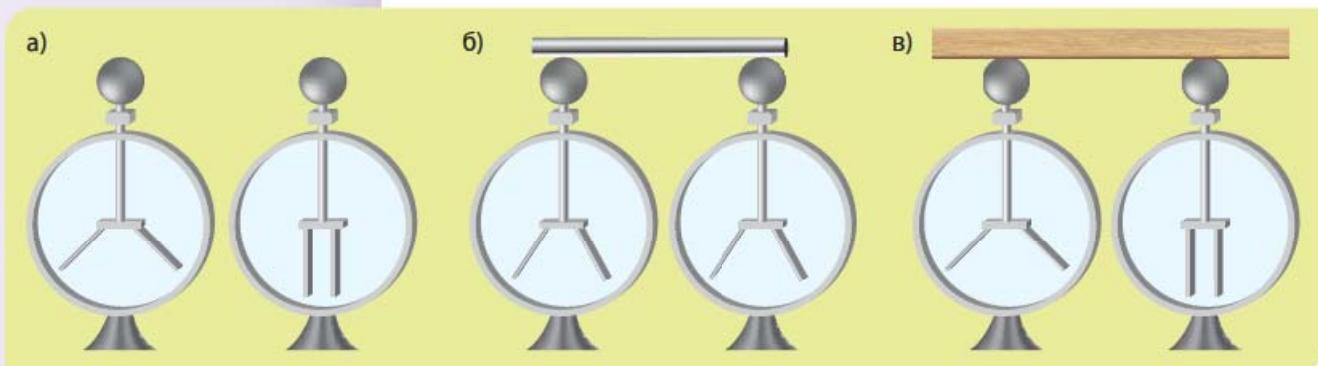
Уређено и неуређено кретање електрона можемо да упоредимо са кретањем ученика за време одмора. Док одмор траје, сви се крећу насумично и нема посебног правца кретања. Када зазвони за крај одмора, сви ученици ће кренути ка улазу у школу. Та „река људи“ јесте њихово усмерено кретање.

Да наелектрисање заиста може да се креће кроз проводнике, лако се да показати једноставним огледом. За то су нам потребна два електроскопа. Ако наелектрисаним предметом додирнемо металну куглу једног електроскопа, његови ће се листићи раширити, и то ће бити доказ постојања наелектрисања на електроскопу. На другом електроскопу ће листићи и даље бити спојени, јер до њега није стигло наелектрисање.

### ПОДСЕЋАЊЕ

Позитивно наелектрисане честице убрзавају у правцу и смеру линија сила електричног поља. Негативно наелектрисане честице убрзавају у супротном смеру.

Сада повежите металне кугле оба електроскопа тако што их истовремено додирнете истим металним штапићем или жицом. Листићи другог електроскопа ће се истог тренутка раширити. Ако пажљиво погледате, видећете да су сада листићи на првом електроскопу мање размакнути, и да је тај размак приближно исти на оба електроскопа. Оно што се овде додило јесте прелазак дела наелектрисања са једног електроскопа на други. Укупна количина наелектрисања је остала иста, али је прерасподељена између ове две металне кугле. Када бисмо исти оглед поновили тако да главе електроскопа повежемо ненаелектрисаним штапићем који је изолатор (нпр. други стаклени или дрвени штапић), не би дошло до било какве прерасподеле. У првом случају смо имали краткотрајно усмерено кретање наелектрисања кроз метални штапић. У другом случају се то није додило, јер изолатори не проводе струју. Чим се количина наелектрисања на оба електроскопа изједначила, није више било електричног поља које би покренуло наелектрисања, и струја је престала да тече.



Два електроскопа:  
а) неповезана, б) повезана проводником, в) повезана изолатором

Док се однос наелектрисања није успоставио у огледу са два електроскопа, имали смо краткотрајно усмерено кретање наелектрисања. Електрична струја текла је кроз металну шипку, али кроз дрвени штапић није могла. Метали су проводници, док су дрво и пластика изолатори.



- Шта су носиоци наелектрисања?
- Шта је електрична струја?
- Шта је електролит?
- Наведи примере материјала који се користе као изолатори.



# ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Да би струја протицала кроз проводник, између његових kraјева мора да постоји напон. Извори струје попут батерија, акумулатора или генератора, одржавају напон на kraјевима проводника.

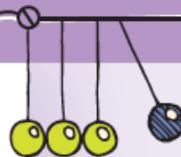
Када између kraјева проводника постоји напон, у њему се ствара електрично поље. То поље узрокује усмерено кретање наелектрисања, то јест, електричну струју. Док год постоји напон, електрична струја тече кроз проводник. Ако желимо да струја стално тече, потребно је да се одржава напон. Уређаји који обезбеђују да струја протиче непрекидно називају се **извори електричне струје**. Извори електричне струје увек претварају неку другу врсту енергије у електричну енергију. Та енергија може да буде механичка, топлотна, хемијска итд.

## ХЕМИЈСКИ ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

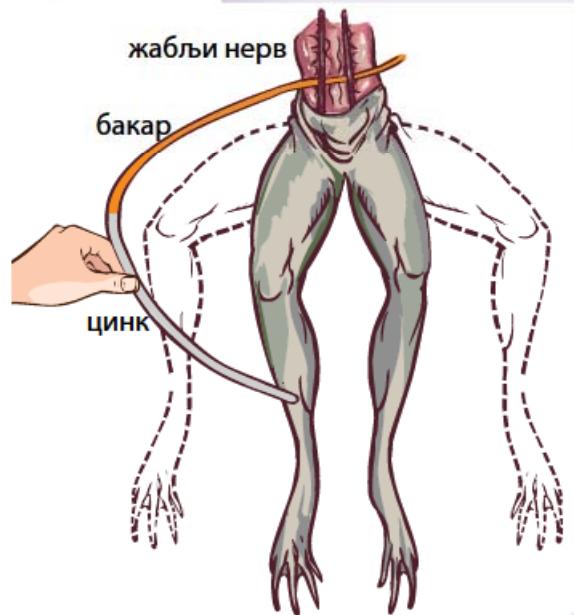
За многе уређаје данас користимо батерије као извор електричне енергије. Батерије претварају хемијску енергију у електричну. Настанак батерије дугујемо открићу Луиђија Галванија, италијанског лекара из XVIII века. Он је открио да се мишићи жабљих батаца грче, кад их истовремено додирају две међусобно спојене шипке од различитих метала. Разлог за то је струја која потече кроз ткиво кад га дотакну два метална шилька између којих постоји напон. Ткиво жабе садржи електролит који проводи електричну струју. Тј електролит је заправо телесна течност жабе. Када се успостави електрични напон између две тачке између којих је електролит, између њих потече струја. То је разлог што се мишићи грче.

Када бисмо узели неки други електролит и два различита метала, могли бисмо да направимо извор електричне струје. Такви се склопови називају галванским елементима. Конкретну реализацију са плочицама од цинка и бакра коју је направио други италијански научник, Александро Волта, сматрамо првом батеријом. Данас ту прву батерију називамо **волтин елемент**.

Металне плочице у електролиту према којима се крећу носиоци наелектрисања називају се **електроде**. Позитивна електрода се назива анода, а негативна катода. Позитивни јони, они који се крећу ка катоди, називају се катјони. Негативни јони се крећу ка аноди и они су **анјони**.



- извори струје
- електроде
- полови извора
- електромоторна сила



Галванијев експеримент  
са жабом



Из хемије сте учили да је анода позитивна електрода. Јони који се крећу ка њој – називају се анјони, и они су негативно наелектрисани.

Негативна електрода назива се катода. Јони који се крећу ка катоди – називају се катјони, и они су позитивно наелектрисани.

Електроде, као делови извора електричне струје, представљају **полове** тог извора.

Анода је позитивни пол, а катода негативни пол извора струје.

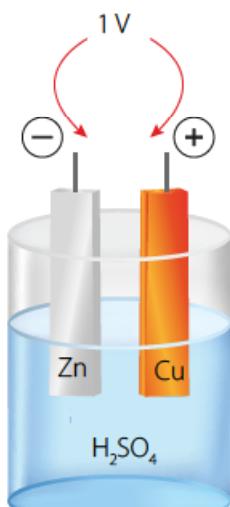
**Волтин елемент** је садржао плочице од цинка и бакра, између којих је био раствор сумпорне киселине. Оба метала реагују са киселином, при чему позитивно наелектрисани јони одлазе у електролит, док електрони остају на плочици. Цинк брже реагује него бакар, због чега на цинканој плочици остаје више електрона него на бакарној. Због тога је бакарна плочица позитивна у односу на цинкану. Када ове две плочице спојимо жицом, између њих потече струја. Како се позитивни јони таложе на негативној електроди, струја постаје све слабија. На тај начин се батерија празни, односно хемијска енергија се претвара у електричну. Напон волтиног елемента је приближно 1,1 V. Та вредност напона зависи од избора метала за електроде. Ако се више волтиних елемената повежу у низ – добићемо **волтин стуб**. Напон између крајева волтиног стуба зависи од броја волтиних елемената који га чине.

#### САЗНАЈ ВИШЕ

Алесандро Волта је био италијански физичар (Комо, 1745 – Комо, 1827). Бавио се истраживањем електричних појава у физици и хемији. Поред претече савремене батерије, открио је и гас *мейтан*.

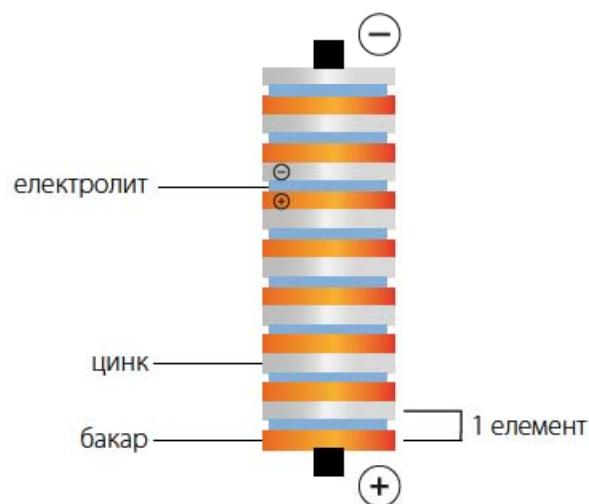


Алесандро Волта



Волтин елемент

Волтин елемент и волтин стуб

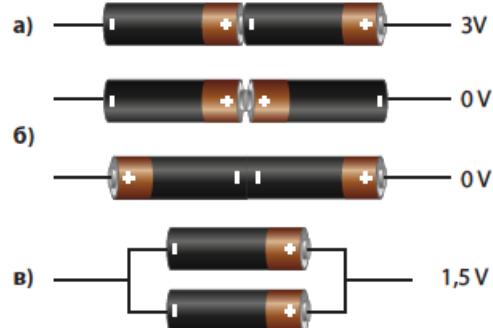


Волтин стуб

Постоји више познатих хемијских извора електричне струје. Волтин елемент је само један од њих. **Лекланшеов елемент** је направљен од цинканог суда у коме се налази шипка од графита. Акумулатор са оловним плочама је један од галванских елемената који могу да се пуне више пута. То својство акумулатора је посебно важно у ауто-индустрији. Савремене акумулаторске никл-кадмијумске и литијум-јонске батерије, такође могу више пута да се пуне. Оне се користе највише за напајање преносних уређаја, попут мобилних телефона и лаптопова. Пуњиве батерије омогућавају да се електрична енергија претвара у хемијску и да се тако чува за каснију употребу.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Није свеједно како ћете повезати батерије, као и било које друге изворе струје. Да би се повећао напон између крајева извора, те изворе морамо да повежемо један за другим. Свака „+“ електрода мора да се повеже са „-“ електродом у низу. Тако се напони на појединачним изворима сабирају, и укупни напон постаје већи. Ако их спојимо да се „+“ електрода на једној батерији повезује са „+“ на другој, а да се „-“ повезује са „-“, напон ће остати исти, само ће капацитет батерије бити већи. У свим електричним уређајима обележено је како треба поставити батерије, па није лако погрешити



Везивање батерија; а) два пута већи напон,  
б) погрешно повезивање,  
в) два пута већи капацитет

## МЕХАНИЧКИ ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Механички извори електричне енергије су они који механичку енергију претварају у електричну. Хидроелектране кинетичку енергију воде претварају у струју. Ветрењаче то чине са енергијом ветра. Чак и термоелектране и нуклеарне електране спадају у механичке изворе, јер се у њима, на крају процеса, енергија кретања водене паре претвара у струју. Све што својим кретањем може да покрене генератор електричне струје, нпр. вода, ветар или пара – покретач је механичких извора струје. Динамо на бицикли и алтернатор у аутомобилу, такође су механички извори струје. Они енергију кретања точка – претварају у струју.



Ветрењача



Динамо



### САЗНАЈ ВИШЕ

**Оловни акумулатори** се највише користе у аутомобилима. Свака ћелија ових акумулатора састоји се од две оловне плоче потопљене у раствор сумпорне киселине. Свака ћелија даје напон од приближно 2 волта. У путничким аутомобилима су обично акумулатори са шест ћелија. Напон на овим акумулаторима је  $6 \times 2$  V, тј. 12 волти. Због оловних плоча, акумулатори су веома тешки.



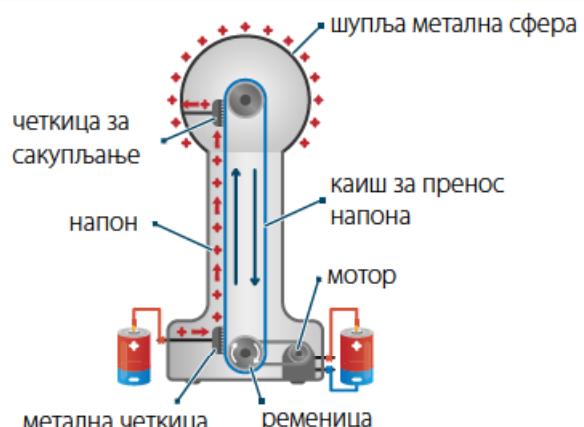
Аутомобилски акумулатор



### САЗНАЈ ВИШЕ

**Ван де Графов генератор** користи обртање траке и наелектрисавање путем трења да створи веома висок напон. Генератор се састоји од проводника у облику полуолопте, покретне траке, ваљака и четкица (електрода). Обртањем ручице, покреће се трака која преноси наелектрисања до проводника, на чијој се спољној површини наелектрисања задржавају. На тај начин се на глави Ван де Графовог генератора сакупља велика количина наелектрисања и генерише напон до 450 хиљада волти.

Схема Ван де Графовог генератора



## ОСТАЛИ ИЗВОРИ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ



ОГЛЕД

**БАТЕРИЈА ОД ЛИМУНА:**  
Направите једноставну батерију од лимуна тако што ћете у лимун убацити две различите металне електроде (нпр. цинк и бакар). Повежите малу LED диоду на електроде и напон између електрода ће бити довољан да диода засветли. Лимунов сок у овој батерији постаје електролит и проводи електричну струју.

Електрична струја може да настане као последица различитих електромагнетних, механичких, светлосних или топлотних ефеката. Ветрењаче, на пример, претварају механичку енергију ветра у електричну, док соларне ћелије за то користе светлосну енергију. Соларне ћелије се углавном сastoјe од полупроводничких материјала и функционишу тако што светлост избија електроне из материјала. Електрони се онда крећу ка одговарајућој електроди, и тако добијамо усмерено кретање наелектрисања, тј. електричну струју.



Соларне ћелије

## ЕЛЕКТРОМОТОРНА СИЛА

Физичка величина која описује извор електричне струје назива се **електромоторна сила**. Иако се у називу ове физичке величине налази реч **сила**, она није сила. Електромоторна сила се обележава скраћеницом EMS или великим писаним великим грчким словом епсилон  $\mathcal{E}$ . Мерна јединица за њу је волт (**V**), исто као и за напон.

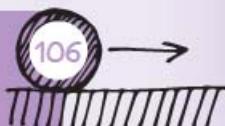
**Електромоторна сила** неког извора бројно је једнака раду који је потребан да се јединачно наелектрисање пренесе са једног на други пол извора.

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q}$$

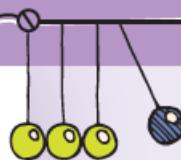
Иако су напон на крајевима извора струје и електромоторна сила извора две различите физичке величине, у задацима се често поистовећују. Електрични напон између електрода извора електричне струје једнак је електромоторној сили тог извора.



- Наведи примере хемијских извора електричне струје.
- Наведите примере механичких извора електричне енергије.
- Шта се дешава са струјом хемијског извора када се позитивно наелектрисани јони таложе на негативној електроди?

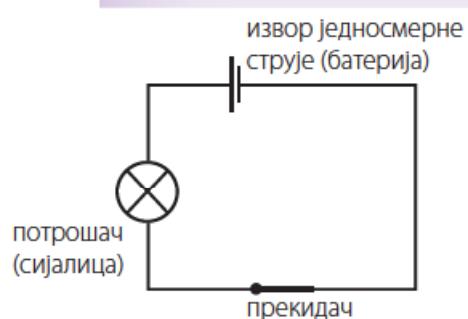
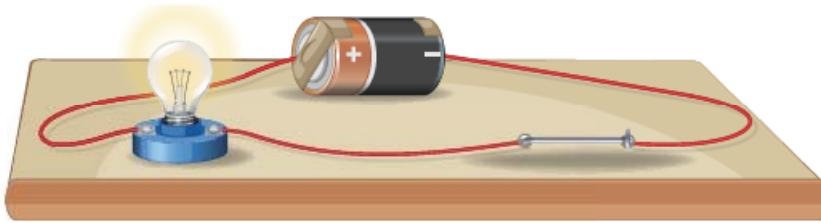


# СТРУЈНО КОЛО



Струјно коло је затворена контура од проводног материјала, на пример круг или правоугаоник направљен од жице, у коју је укључен извор струје. Да би струја могла стално да тече кроз проводник, коло мора да буде затворено. Свако струјно коло мора да има и извор струје, проводник и потрошач. Углавном, струјна кола имају и **прекидач** који омогућава да се затвори или отвори по потреби, тј. да се струја укључи или исклjuчи. Све делове струјног кола (попут извора, потрошача и прекидача), називамо **елементи струјног кола**.

- струјно коло
- прекидач
- потрошач
- технички смер електричне струје
- физички смер електричне струје
- јачина електричне струје



Једноставно струјно коло и његов схематски приказ

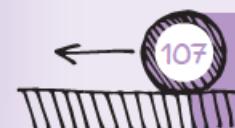
Струјна кола најчешће се представљају цртежом са стандардним симболима за елементе кола. Такав приказ назива се **схематским**. У табели су наведени основни елементи кола са својим симболима.

ЕЛЕМЕНТ СТРУЈНОГ КОЛА	СИМБОЛ
Извор једносмерне струје	
Проводник	
Потрошач (сијалица)	
Прекидач	

Табела 4.1. Елементи струјног кола

Једноставна струјна кола имају само једну контуру. Уколико се проводници гранају и спајају, онда и електрична струја може да потече различитим гранама. У том случају, струја може да тече кроз различите контуре. Такво коло се назива **разгранатим колом**.

Све елементе кола који на неки начин троше струју (претварајући електричну енергију у топлотну, светлосну, механичку итд.), називамо заједничким именом **потрошачи**. Строго говорећи, и проводници су потрошачи јер се и они греју, али је та потрошња много мања него на елементима који су баш са том наменом прављени. У школским примерима електричних кола најчешће се сијалице користе као потрошачи. Сијалица нам даје могућност да видимо да ли у колу све ради и да ли је све повезано како треба. Ако сијалица светли – онда кроз коло тече струја.



## СМЕР СТРУЈЕ У ЕЛЕКТРИЧНОМ КОЛУ

Из историјских разлога, смер кретања струје супротан је смеру кретања електрона у проводнику. Научници су прво утврдили својства електричне струје, па тек касније открили да је електрон основни носилац наелектрисања. Договорено је да се, за **технички смер** електричне струје, узима смер – од позитивног поља кроз проводник – ка негативном полу извора. Електрони се, као негативно наелектрисане честице, крећу у супротном смеру, тј. ка позитивном полу извора. Тада смер кретања електричне струје се назива **физички смер**. Када се у задацима говори само о смеру струје, ту се мисли на технички смер.



### ЗАНИЈАЈ ВИШЕ

Када укључујемо светло, чини нам се да сијалица пали истог тренутка када притиснемо прекидач. То је због тога што се електрична струја кроз проводник преноси брзином која је близка брзини светlosti. То не значи, међутим, да се електрони у проводнику крећу том брзином. Они се крећу свега неколико милиметара у секунди, али они једни на друге делују својим електричним пољем – те се сви померају скоро истовремено. На тај начин, они последњи електрони у низу, врло брзо стижу до позитивне електроде, па се струјно коло затвара. Струја се понаша слично течности која испуњава цев. Ако се на једном месту отвори вентил, сва течност почне да тече, практично, истог тренутка.

## ЈАЧИНА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Што више наелектрисања прође кроз проводник у јединици времена, то је електрична струја јача. Физичка величина којом меримо колико је јака електрична струја назива се **јачина електричне струје**. Она је једна од седам основних физичких величине у Међународном систему јединица **SI**. Уобичајена ознака за јачину струје је **I**.

Мерна јединица за јачину електричне струје је **ампер, A**.

**Јачина електричне струје (I)** бројно је једнака количини наелектрисања ( $q$ ) које протекне кроз попречни пресек проводника у јединици времена ( $t$ ).

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

### ЗАДАТАК

Колика је јачина струје која протиче кроз проводник ако кроз његов попречни пресек за 1 милисекунд прође наелектрисање 0,002 кулона?

ПОЗНАТЕ  
ВЕЛИЧИНЕ

$$q = 0,002 \text{ C}$$

$$t = 0,001 \text{ s}$$

$$I = ?$$

РЕШЕЊЕ

Јачина електричне струје ( $I$ ) бројно је једнака количини наелектрисања ( $q$ ) које протекне кроз попречни пресек проводника у јединици времена ( $t$ ):

$$I = \frac{q}{t} \quad I = \frac{0,002 \text{ C}}{0,001 \text{ s}} = 2 \text{ A}$$



Количина наелектрисања која пролази кроз попречни пресек проводника, на било ком месту, у једноставном, неразгранатом електричном колу, увек је иста. Како наелектрисање не може да настане или нестане у проводнику, проток количине наелектрисања мора бити једнак било где у колу. Због тога је јачина струје у било ком делу неразгранатог електричног кола једнака. Уколико је коло разгранато, то више не важи, јер се струја дели на више грана.

Усмерени проток наелектрисања, где се наелектрисања све време крећу од негативне ка позитивној катоди, представља једносмерну струју. Сви уређаји које прикључујемо у струју тако што проводнике повезујемо са „+“ и „-“ електродама – раде на једносмерну струју. Осим једносмерне, често се користи и наизменична струја. Код електричних утичница у кући никде не пише који је отвор + а који за -. Код наизменичне струје, смер кретања електрона се периодично мења. Код електричне мреже, каква се користи у целој Европи, смер струје се мења 50 пута у секунди. Ова физичка величина се назива **фреквенција наизменичне струје** и изражава се у **херцима [Hz]**.



Акумулатор



Електрична утичница



#### САЗНАЈ ВИШЕ

Андре-Мари Ампер је био француски физичар (Лион, 1775 – Марсель, 1836).

Поред физике, бавио се и математиком. Један је од најистакнутијих истраживача у области електричних струја.



Андре-Мари Ампер

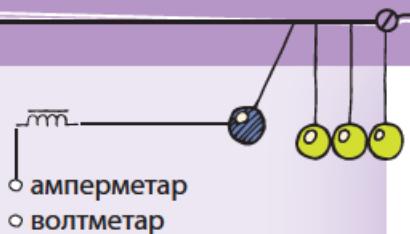


#### САЗНАЈ ВИШЕ

Утврђено је да **наизменична струја** има много мање губитке енергије приликом преношења од електрана до крајњих корисника. То је основни разлог због ког се електрична струја транспортује као наизменична. Многи електрични уређаји које користимо ипак раде на једносмерну струју, због чега је неопходно да имамо трансформатор који наизменичну струју претвара у једносмерну. У почетку су сви уређаји радили на једносмерну струју, па прелазак на наизменичну струју није био једноставан. Тада је познат као „**рат струја**“, због сукоба између Томаса Едисона и Николе Тесле, који су заговарали једносмерну, односно, наизменичну струју. У том рату победио је Никола Тесла.



- Који су елементи једноставног струјног кола?
- Колико наелектрисања протекне кроз попречни пресек проводника за један секунд ако је јачина струје један ампер?
- Због чега се разликују физички и технички смер струје?



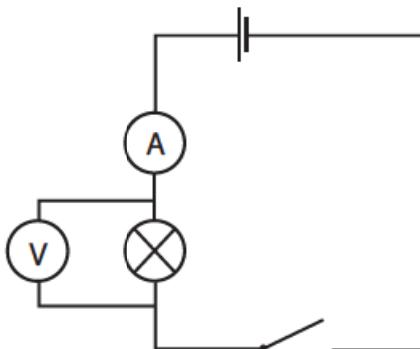
# МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ И НАПОНА

Уређај за мерење јачине електричне струје назива се **амперметар**. У схемама електричних кола обично се означава кругом у којем је слово **A** — . Амперметар се повезује тако да кроз њега пролази струја чију јачину меримо.

Исто као и код многих других мерних инструмената, скала амперметра може да буде аналогна или дигитална. Код аналогне скале, јачину струје приказује покретна казаљка, док је код дигиталне бројчани приказ.

Уређај за мерење напона назива се **волтметар**. На схемама се означава кругом у којем је слово **V** — . За разлику од јачине струје, напон није исти у свим деловима кола. Напон се обично мери на извору струје или на потрошачу. Волтметар мери напон између две тачке у струјном колу, обично између тачке испред и тачке иза елемената у колу.

Јачину струје у колу и напон на потрошачу можемо да меримо истовремено. На схеми испод приказан је начин мерења струје и напона за познато коло са сијалицом.



Волтметар и амперметар у струјном колу са сијалицом

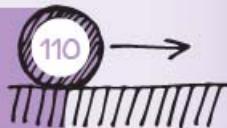
Уређај који може да ради и као амперметар и као волтметар назива се **унимер** или **мултиметар**. Данас се најчешће користи овакав уређај који по избору можемо да користимо на један или на други начин.



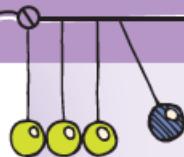
Унимер



- Шта мери унимер?
- Где се обично мери напон у колу?
- Коју величину у колу можемо да меримо ако проводник пресечемо и један крај тог проводника прикачимо на један улаз унимера, а други крај проводника на други улаз?

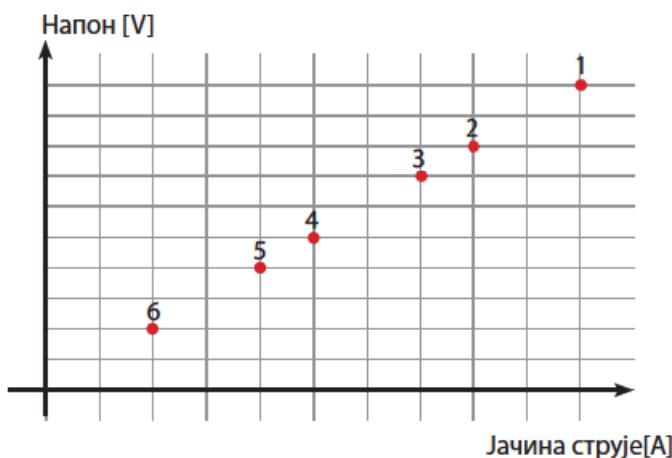


# ОМОВ ЗАКОН И ЕЛЕКТРИЧНА ОТПОРНОСТ



- електрична отпорност
- Омов закон
- специфична отпорност
- отпорник
- реостат

Сетите се једноставног електричног кола које има само батерију као извор струје, потрошач (на пример, сијалица) и прекидач. Ако правилно вежемо волтметар и амперметар, можемо истовремено да меримо и напон на потрошачу, и јачину струје која пролази кроз њега. Замислите сада да је потрошач стално укључен и да се батерија временом празни. Када бисмо, за то време, мерили напон ( $U$ ) и јачину струје ( $I$ ) и бележили њихове вредности, видели бисмо да се обе ове величине смањују. На графику су приказане измерене вредности, тако што на  $x$ -осу стављамо јачину струје, а на  $y$ -осу напон.

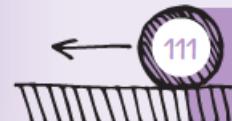


Графикон зависности напона и јачине струје

Ако пажљиво погледате графикон зависности напона и јачине струје, уочићете да су ове две величине сразмерне. Што је мањи напон између половина извору – то је мања јачина струје у колу. Слично би важило и када би напон био све већи. Што је већи напон, већа би била и јачина струје. За ово електрично коло бисмо могли да израчунамо коефицијент сразмерности између напона и јачине струје. Довољно је измерену вредност напона поделити са вредношћу јачине струје измерене у истом тренутку.

Коефицијент сразмерности између напона на крајевима елемента електричног кола и јачине струје која кроз њега пролази – називамо електрична отпорност ( $R$ ).

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



Ова веза напона, јачине струје и отпорности представљена је Омовим законом. Формално, **Омов закон** описује зависност јачине струје од напона и отпорности и гласи:

Јачина струје у посматраном делу кола сразмерна је напону на његовим крајевима, а обратно сразмерна електричној отпорности.

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

Уобичајено је да се Омов закон записује у другачијем облику:

$$U = R \cdot I$$

Када бисмо сада претходни експеримент поновили са другачијим потрошачем, на пример, већом сијалицом, опет бисмо добили сличну зависност између напона и јачина струје. Ове величине би опет биле сразмерне, али коефицијент сразмерности не би био исти. Колики ће бити коефицијент сразмерности, то зависи од потрошача, односно од његове отпорности.

Мерна јединица за отпорност је **ом** [ $\Omega$ ]. Ом је једнак количнику волта и ампера:  $1 \Omega = \frac{1V}{1A}$ . Знак  $\Omega$  је последње слово грчког алфабета и чита се **омега**.

Ова мерна јединица названа је тако по немачком физичару **Георгу Симону Ому**, који је први открио везу између јачине електричне струје, отпорности и напона.



Напон измерен на крајевима отпорника је 1,2 волта. Јачина струје у колу која пролази кроз отпорник је 0,3 ампера. Колика је отпорност овог отпорника?

ПОЗНАТЕ  
ВЕЛИЧИНЕ

$$U = 1,2 V$$

$$I = 0,3 A$$

$$R = ?$$

РЕШЕЊЕ

На основу Омовог закона зnamо да је  $R = \frac{U}{I}$ . Када заменимо бројне вредности добијамо:

$$R = \frac{1,2 V}{0,3 A} = 4 \Omega$$

Извор струје такође има своју отпорност, јер се електрони крећу и кроз тај део кола. Електрична отпорност извора назива се **унутрашњом отпорношћу извора** или унутрашњом отпорношћу кола. Обично се означава словом  $r$ . Због тога би Омов закон за цело струјно коло требало да укључи укупну отпорност свих елемената. Формула којом се израчунава електромоторна сила извора  $\mathcal{E}$  назива се **Омов закон за цело струјно коло**:

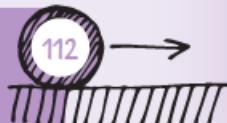
$$\mathcal{E} = I \cdot (R + r)$$

$I$  – јачина електричне струје

$R$  – укупна отпорност проводника и отпорника у колу

$r$  – унутрашња отпорност кола

$R + r$  – укупна отпорност кола



## СПЕЦИФИЧНА ОТПОРНОСТ МАТЕРИЈАЛА

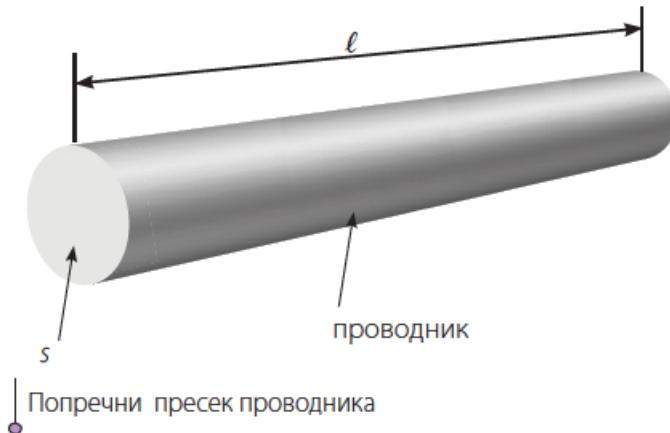
Електричну отпорност можемо да опишемо као отпор кретању наелектрисаних честица кроз проводник. Кретање преносилаца наелектрисања кроз проводник можемо да замислимо као кретање групе људи кроз гужву. Иако зnamо када идемо, стално наилазимо на препеке које нас успоравају и спречавају да идемо најкраћим путем. Свеједно да ли се електрони крећу кроз метал, или се јони крећу кроз електролит, носиоци наелектрисања се сударају са јонима у проводнику и то омета њихово кретање. Можемо рећи да средина кроз коју се крећу пружа одређени отпор усмереном кретању наелектрисања.

Експериментално је утврђено да електрична отпорност зависи од дужине проводника, његове ширине и избора материјала од ког је проводник направљен. Што проводник има мањи попречни пресек, тј. што је проводник ужи, то је електронима теже да прођу кроз њега. Слично важи за дужину – што је већа дужина, електронима је теже да прођу кроз проводник.

Електрична отпорност често се назива и електричним отпором. **Отпорност проводника ( $R$ )** рачунамо према формулама:

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

$\ell$  – дужина проводника  
 $S$  – површина попречног пресека проводника  
 $\rho$  – (грчко слово ρ) константа специфична за изабрани материјал



Константа  $\rho$  материјала је физичка величина којом се означава способност материјала да проводи струју. Она је **специфична отпорност** материјала. Треба имати у виду да специфична отпорност зависи од температуре материјала и да расте са температуром. Због тога се специфична отпорност прецизно дефинише као електрична отпорност проводника дужине 1 м и попречног пресека 1  $m^2$  на температури од 20°C.



ОГЛЕД

**ГРАФИТ КАO ПРОМЕЊАВИ ОТПОРНИК:** Нацртајте линију на папиру графитном оловком. Потрудите се да линију довољно подебљате да се на папиру види слој графита. Тај нанос графита је проводник велике отпорности. Користећи батерију и два комада жице повежите графит у електрично коло. Помоћу волтметра измерите напон између произвољне две тачке на графитној линији. У зависности од тога како смо изабрали те две тачке, волтметар ће показивати различите вредности. На овај начин демонстрирамо да отпорност проводника у колу зависи од његове дужине.



САЗНАЈ ВИШЕ

Повећање специфичне отпорности материјала са температуром може да буде велики проблем за рад електричних уређаја. Због тога електрично коло мора да се хлади на различите начине, како би отпорност у њему била мала.

Из формуле за електричну отпорност видимо да је отпорност онолико пута већа колико је већа дужина проводника. С друге стране, отпорност је онолико пута мања колико је већа површина попречног пресека. Можемо да кажемо да је отпорност проводника сразмерна дужини проводника, а обрнуто сразмерна његовом попречном пресеку.

МАТЕРИЈАЛ	СПЕЦИФИЧНА ОТПОРНОСТ [ $\Omega \cdot m$ ]
Сребро	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Бакар	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Злато	$2,3 \cdot 10^{-8}$
Алуминијум	$2,8 \cdot 10^{-8}$
Гвожђе	$1,0 \cdot 10^{-7}$
Платина	$1,1 \cdot 10^{-7}$
Жива	$9,6 \cdot 10^{-7}$
Морска вода	0,2
Дрво	од $10^3$ до $10^4$
Дестилована вода	$1,8 \cdot 10^5$
Ваздух	приближно $10^{14}$
Стакло	од $10^{11}$ до $10^{15}$

Табела 4.2. Вредности специфичних отпорности неких материјала

## ОТПОРНИЦИ

За практичну примену електричне струје, неопходно је да контролишемо њену јачину. То је једноставније урадити променом отпорности елемената у колу него мењањем извора струје. Елемент помоћу ког се мења електрична отпорност у неким деловима електричног кола назива се **отпорник**. Његова основна карактеристика је тачно одређена отпорност која не зависи много од температуре. Отпорници се користе за различите намене, због чега се производе у великом распону отпорности, од стотих делова ома до више милиона ома.

Симболи за отпорнике имају две често коришћене варијанте:  $\textcircled{w} \textcircled{w}$  и  $\textcircled{w} \textcircled{w}$ . Сигурно ћете ихвићати у обе варијанте.

Код неких отпорника отпорност може да се подешава. Отпорници с променљивом отпорношћу подесни су за фино мењање јачине струје у електричном колу. Овакви отпорници се називају и **реостати**. Код њих се најчешће помера механички клизач којим мењамо ефективну дужину отпорника кроз коју пролази струја, па самим тим, и његову отпорност.

За обележавање отпорника с променљивом отпорношћу користе се два симбола:  $\textcircled{w} \textcircled{w} \textcircled{w}$  и  $\textcircled{w} \textcircled{w} \textcircled{w}$ .



Отпорници



Реостат

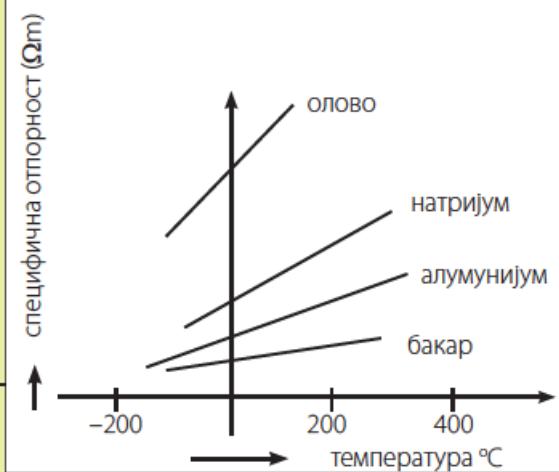




### САЗНАЈ ВИШЕ

Код већине материјала отпорност се мења сразмерно са апсолутном температуром. Што је температура нижа, то је отпорност мања. Оваква  **зависност отпорности од температуре** назива се линеарна, јер график зависности изгледа као права линија.

Зависност отпорности од температуре

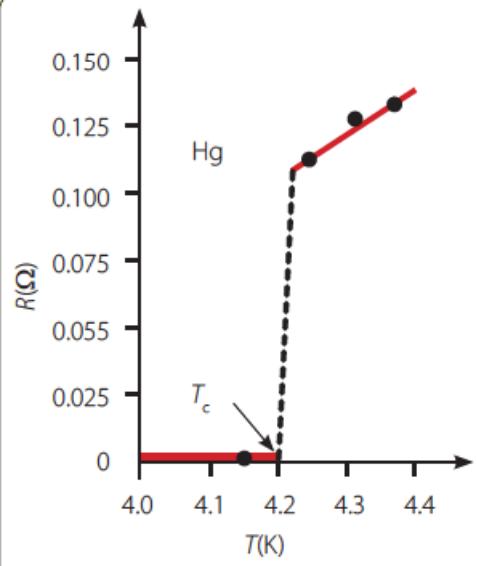


### САЗНАЈ ВИШЕ

Отпорност би требало да буде све мања, како се приближавамо апсолутној нули (0 келвина, тј. -273,15°C). Ипак, неки материјали на температурама низим од критичне температуре ( $T_c$ ), потпуно губе своју отпорност. Та појава назива се **суперпроводност**, а материјали којима се то дешава, називају се **суперпроводници**.

Суперпроводност је, 1911. године, открио холандски физичар Камерлинг Онес, проучавајући особине живе на изузетно ниским температурама.

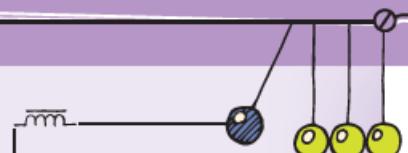
Критична температура је углавном веома ниска и није иста за све материјале. Њу је, засад, једино у лабораторијским условима могуће остварити. Критична температура за живу је 4,15 K. Могућности примене суперпроводника би биле изузетно велике када бисмо успели да их добијемо на собној температури. То, засада, нисмо остварили.



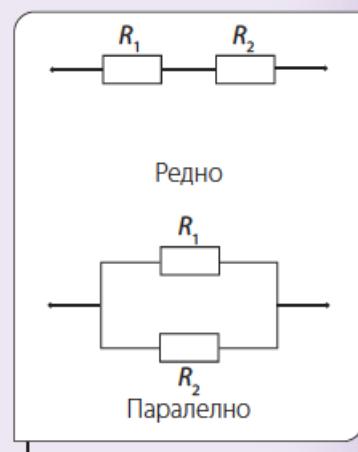
Отпорност живе губи се на температури 4,15 K



- Како се назива коефицијент сразмерности напона и јачине струје у неком делу кола?
- Како отпорност проводника зависи од површине попречног пресека тог проводника?
- Шта је унутрашња отпорност кола?
- Који материјали имају највећу специфичну отпорност?



- редна веза отпорника
- паралелна веза отпорника
- еквивалентна отпорност



Редно и паралелно везивање отпорника

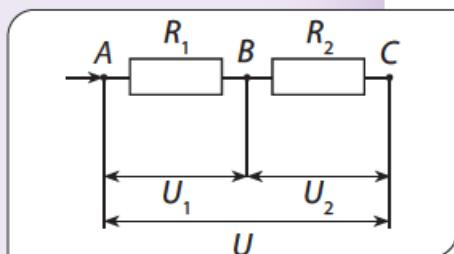
# ВЕЗИВАЊЕ ОТПОРНИКА

Када у коло стављамо два отпорника, можемо их везати на два начина – један иза другог или један поред другог. Први начин се назива **редно** или **серијско** везивање, а други **паралелно** везивање. Код редног везивања струја протиче кроз оба отпорника, док се код паралелног струја дели на два крака – један део струје протиче кроз један, а други део струје кроз други отпорник. Карактеристике кола, у једном и другом случају, веома се разликују. Зато је посебно важно да правимо разлику између редног и паралелног везивања.

Више отпорника редно или паралелно везаних у електрично коло можемо да заменимо једним отпорником тачно одређене отпорности. Вредност те отпорности може да се израчуна и назива се **еквивалентна отпорност**. Ако више отпорника заменимо једним отпорником еквивалентне отпорности, карактеристике електричног кола се не мењају. Овде ћемо показати како се одређује еквивалентна отпорност за редно и паралелно везане отпорнике.

## РЕДНА ВЕЗА ОТПОРНИКА

Узмимо два отпорника отпорности  $R_1$  и  $R_2$  и спојимо их редно, као на слици. Пошто сва струја која тече кроз један део проводника мора да прође и кроз други, јачина струје која протиче кроз њих мора да буде иста ( $I$ ). Напон између тачака  $A$  и  $B$ , односно  $B$  и  $C$  можемо да израчунамо на основу Омовог закона:



Редна веза два отпорника

$$U_1 = I \cdot R_1 \text{ (напон између тачака } A \text{ и } B\text{),}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 \text{ (напон између тачака } B \text{ и } C\text{).}$$

Када бисмо оба отпорника заменили једним еквивалентним отпорником ( $R_e$ ), онда би Омов закон за део кола од тачака  $A$  до  $C$  био  $U = I \cdot R_e$ .

Како је укупни напон између тачака  $A$  и  $C$  једнак  $U = U_1 + U_2$ , можемо да изједначимо изразе  $I \cdot R_e = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$ . Овде јачина електричне струје може да се скрати, па добијамо формулу за еквивалентну отпорност ( $R_e$ ) два редно везана отпорника отпорности  $R_1$  и  $R_2$ :

**Еквивалентна отпорност** редно везаних отпорника једнака је збиру њихових отпорности.

$$R_e = R_1 + R_2$$

Ако би, уместо два отпорника, био везан само један отпорник чија је отпорност једнака збиру отпорности та два, у колу се ништа не би променило.

Еквивалентна отпорност редно везаних отпорника увек је већа од отпорности појединачних отпорника.

## ПАРАЛЕЛНА ВЕЗА ОТПОРНИКА

Да би елементе у електричном колу могли да везујемо паралелно, потребно је да постоје паралелне гране струјног кола, тј. да се струја грана. На слици је приказано коло у коме се струја грана у тачки A и где се сабира у тачки B. Тачке у којима се струја грана или сабира називају се **чворовима струјног кола**. Између чврова A и B имамо две гране кола, и свака грана има по један отпорник,  $R_1$  и  $R_2$ . За овако распоређене отпорнике кажемо да су паралелно везани.

Према Омовом закону, јачине струја које пролазе кроз отпорнике  $R_1$  и  $R_2$  рачунамо као:  $I_1 = \frac{U}{R_1}$  и  $I_2 = \frac{U}{R_2}$ .

Да бисмо одредили еквивалентну отпорност за овако везане отпорнике, потребно је да уочимо и везе између јачине струје у различитим деловима кола. Пошто је струја ток наелектрисања, а наелектрисања не могу да нестану или настану, закључујемо да струја која улази у чвр A, мора да буде једнака збиру струја које излазе из тог чвора.

Слично, збир струја које улазе у чвр B мора да буде једнак струји која излази из тог чвора. То значи да је  $I = I_1 + I_2$ .

На основу израза за појединачне струје, израз за јачину струје  $I$  можемо да запишемо као:  $I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$ .

Ако уведемо еквивалентну отпорност  $R_e$ , за коју важи  $I = \frac{U}{R_e}$ , онда претходни израз можемо да напишемо као:

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

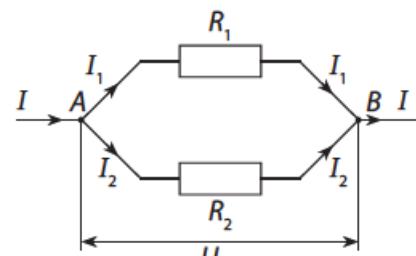
Када овај израз скратимо са  $U$ , онда добијамо следећи израз за реципрочну вредност еквивалентног отпора:

**Реципрочна вредност еквивалентне отпорности** паралелно везаних отпорника – једнака је збиру реципрочных вредности њихових отпорности.

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

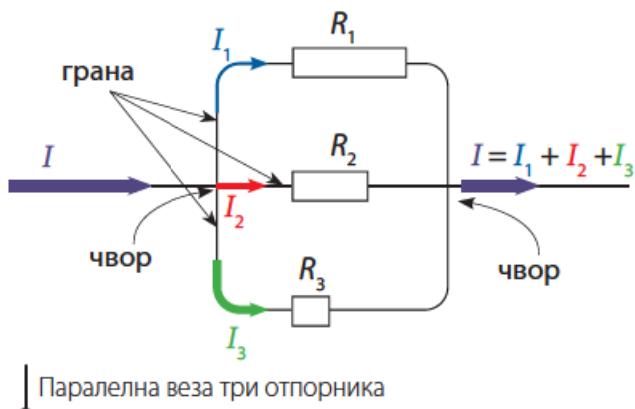
Еквивалентна отпорност паралелно повезаних отпорника – мања је од отпорности било ког појединачног отпорника.

Приметите да еквивалентна отпорност за два редно везана отпорника отпорности  $1\Omega$  износи  $2\Omega$ . Ако иста та два отпорника вежемо паралелно, еквивалентна отпорност ће бити  $0,5\Omega$ .



Паралелна веза отпорника

Када паралелно вежемо више отпорника, опет ће важити да је збир јачина струја које улазе у чвор једнак збиру струја које излазе из чвора. На слици је приказан случај паралелне везе три отпорника.



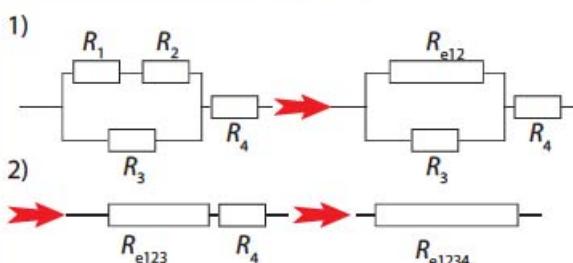
Не везују се само отпорници редно и паралелно у електрично коло. То можемо да радимо и са другим елементима, на пример, изворима струје, кондензаторима или инструментима. Ако погледаш слику на страни 108, видећеш да је крај потрошача везан за почетак амперметра. Та веза је редна веза.

На истој слици видиш да су леви крајеви потрошача и волтметра везани за исту тачку. Такође, десни крајеви потрошача и волтметра имају исту тачку. Таква веза је паралелна веза.

## ЕКВИВАЛЕНТНА ОТПОРНОСТ ЗА ВИШЕ ВЕЗАНИХ ОТПОРНИКА

Могуће је одредити еквивалентну отпорност и ако имамо више отпорника који су везани комбинацијом редне и паралелне везе. Најједноставније је употребити поступак који спаја два по два

отпорника, и налази њихову еквивалентну отпорност. Потребно је увек препознати да ли отпорнике спајамо као редно или паралелно везане. Тада поступак понављамо онолико пута колико је потребно, да на крају остане само један отпорник са еквивалентном отпорношћу за све отпорнике које смо имали на почетку. На слици је симболички приказан поступак одређивања еквивалентне отпорности за једну групу мешовито повезаних отпорника.



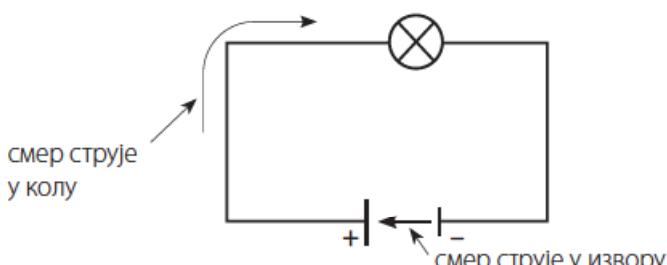
Одређивање еквивалентне отпорности за мешовито повезане отпорнике



- Колико пута ће се променити отпорност дела електричног кола ако уместо једног ставимо три отпорника истих таквих отпорника везаних редно?
- Како треба везати два отпорника у струјно коло тако да еквивалентна отпорност буде мања од отпорности оба везана отпорника?
- Колики је збир јачина струје које улазе у један чвр електричног кола?

# РАД И СНАГА ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Рад електричне струје није једноставно описати као рад електричне сile, јер је електрично коло састављено из више делова. Струја се у затвореном струјном колу креће од позитивног пола извора ка негативном кроз проводник, али, такође, и од негативног ка позитивном, кроз извор струје.



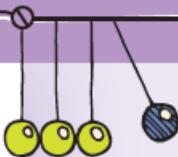
Смер струје у колу и смер кроз извор

Да би струја текла, коло мора да се затвори, тј. да обиђе пун круг. Због тога рад електричне струје подразумева и померање наелектрисања кроз проводник са свим елементима који су ту везани и кроз извор струје. Електрична струја у колу протиче све време док је коло затворено. Наелектрисања не иду само од једног до другог пола – већ небројено много пута круже кроз затворено коло. Различите елементе електричног кола карактеришу другачије електричне појаве. Чак ни носиоци наелектрисања нису свуде исти. На пример, кроз метални проводник електрони преносе наелектрисање, али кроз батерију, односно електролит у батерији, наелектрисање преносе јони. Због свега тога, није практично да рад струје посматрамо као рад на померању појединачних честица. Иако је тачно да укупни рад електричне сile за све честице у колу представља рад електричне струје, било би тешко да га опишемо и израчунамо посматрајући појединачне носиоце наелектрисања.

Посматрајући само одређени елемент кола за који зnamо колики има напон на крајевима ( $U$ ), можемо да израчунамо укупни рад електричних сила:  $A = q \cdot U$ . Количину наелектрисања ( $q$ ) које се креће кроз тај елемент кола, на основу дефиниције електричне струје, одређујемо преко јачине струје ( $I$ ) и времена у ком струја тече ( $t$ ):  $q = I \cdot t$ . Из тога следи да формула за рад електричне струје:

Рад електричне струје, у неком делу струјног кола, бројчано је једнак производу напона на крајевима тог дела кола, јачине електричне струје, и времена током ког струја противе.

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

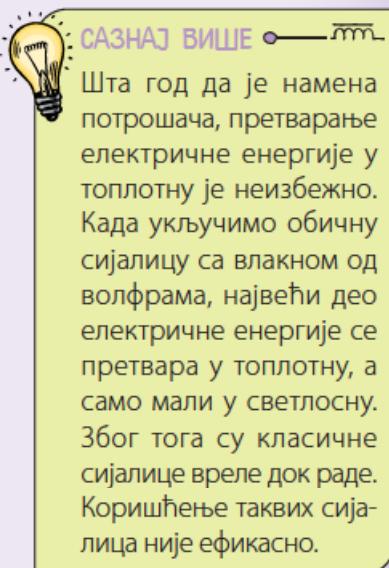


- рад електричне струје
- електрична енергија
- Џул-Ленцов закон



НЕМОЈТЕ НИКАДА  
ДИРЕКТНО ДА СПАЈАТЕ  
ПОЛОВЕ ИЗВОРА!

СТРУЈЕ КОЈЕ НАСТАЈУ ПРИ  
КРАТКОМ СПОЈУ МОГУ ДА БУДУ  
ОПАСНЕ ПО ЖИВОТ.



**Електрична енергија** је способност електричне струје да врши рад.

Пошто је мерна јединица за рад јуул (J), из претходно добијене формуле закључујемо да, између мерних јединица за рад, напон, јачину струје и време, постоји следећа веза:  $1 \text{ J} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$ .

Мерна јединица за електричну енергију је такође **јуул**. Често се користе веће јединице као што су килојуули ( $1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}$ ) и мегајуули ( $1 \text{ MJ} = 10^6 \text{ J}$ ).

Рад електричне струје се практично своди на рад на потрошачу у електричном колу. Да би електрично коло служило било којој намени, у коло мора да буде везан потрошач. Ако је потрошач електромотор, онда се рад електричне струје претвара у механичку енергију. Ако је сијалица, онда у топлотну и светлосну. Рад електричне струје се на потрошачу увек претвара у други облик енергије: топлотну, механичку, хемијску итд.

Ако бисмо полове батерије директно повезали јицом, без икаквог потрошача, струја кроз јицу би била велике јачине, контакти би варничили, а батерија и проводник би се прогрејали. Ова појава се назива **кратак спој**. Уколико не постоји осигурач у колу, кратак спој ће истопити изолацију на проводнику и вероватно уништити извор струје. Хемијска енергија акумулирана у батерији се, приликом кратког споја, неконтролисано брзо троши, претварајући се у топлотну енергију.



**Снага електричне струје** је брзина вршења рада, односно рад извршен у јединици времена:  $P = \frac{A}{t}$ . Када за рад електричне струје искористимо познати израз, добијамо да је снага електричне струје  $P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t}$ . Када скратимо  $t$  у бројоцу и имениоцу разломака, добијамо следећу формулу:

**Снага електричне струје** на потрошачу бројчано је једнака производу напона на његовим крајевима и јачине струје која кроз њега протиче.

$$P = U \cdot I$$

Мерна јединица за електричну снагу је иста као за снагу у механици – **ват (W)**. На основу формуле за електричну снагу закључујемо да је  $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$ .





Колика је јачина струје која протиче кроз грејалицу снаге 1320 вати? Грејалица је укључена у градску мрежу напона 220 волти.

**ПОЗНАТЕ ВЕЛИЧИНЕ**

$$P = 1320 \text{ W}$$

$$U = 220 \text{ V}$$

$$I = ?$$

**РЕШЕЊЕ**

Из израза за снагу електричне струје  $P = U \cdot I$  добијамо да је  $I = \frac{P}{U}$ . Када заменимо бројне вредности, добијамо:

$$I = \frac{1320 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 6 \text{ A}.$$

### САЗНАЈ ВИШЕ

Мерна јединица за утрошену електричну енергију са којом се најчешће сусрећемо, нису џул или килоџул – већ **киловат-час (kWh)**. Иако би правилно било да електричну енергију, изражавамо у џулима, када плаћамо рачуне за електричну енергију видимо да се користи друга мерна јединица. Киловат-час одговара раду који потрошач снаге 1 киловат изврши за 1 час, односно 3 600 секунди. Корисницима који знају колику снагу имају њихови уређаји и колико су их дugo користили, више одговара ова мера. За грејалицу која има снагу 2 киловата, на пример, 1 киловат-час је енергија коју потроши за пола сата.

У табели 4.3 можеш видети снаге поједињих електричних уређаја.

УРЕЂАЈ	ЕЛЕКТРИЧНА СНАГА
Бојлер	4 000–10 000 W
Фен	1 500–2 500 W
Фрижидер	100–200 W
Телевизор	50–150 W
Сијалица с влакном	20–100 W
LED-сијалица	2–15 W
Мобилни телефон	0,2–0,5 W

Табела 4.3. Типичне вредности снаге за поједиње електричне уређаје

## ЦУЛ-ЛЕНЦОВ ЗАКОН

Проводник се загрева када струја протиче кроз њега и температура проводника расте. Неки проводници се толико загреју – да се усијају, као што је то случај са влакном у сијалици. Ипак, постоји граница када проводник више не може да се загрева. Онога тренутка када проводник почне да одаје онолико топлотне енергије ( $Q$ ) колики ради врши електрична струја ( $I$ ), долази до равнотеже:  $Q = A$ . Тада се проводник више не загрева иако струја и даље протиче кроз њега.

Како је количина топлоте која се ослобођена у проводнику једнака раду који изврши електрична струја, ту количину топлоте можемо да израчунамо као  $Q = U \cdot I \cdot t$ . Ако заменимо  $U = I \cdot R$  – добићемо формулу за Цул-Ленцов закон.

**Количина топлоте** ослобођена у проводнику при протицању електричне струје једнака је производу квадрата јачине електричне струје, отпора проводника и времена простицања.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t.$$

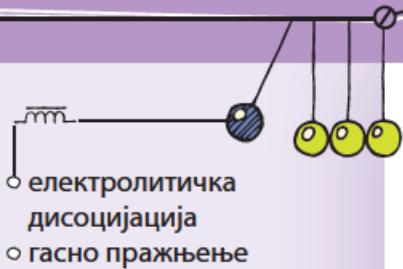
- Чему је једнак рад електричне струје?
- У шта се претвара рад електричне струје на потрошачу?
- У којим мерним јединицама се изражава снага електричне струје?

### САЗНАЈ ВИШЕ

Уколико струја протиче кроз два паралелна крака различитих отпорности, онда се на њима одаје различита количина топлоте. Како је напон на крајевима исти за оба крака, згодније је да формулу за Цул-Ленцов закон запишемо на мало другачији начин користећи:  $Q = \frac{U^2}{R} t$ .

Сада се види како количина топлоте зависи од отпорности проводника одређеном краку. Што је мања отпорност – ослобађа се већа топлота. Крак у ком је проводник мање отпорности, више ће се загрејати.





# ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА У ТЕЧНОСТИМА И ГАСОВИМА



## ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА У РАСТВОРУ КУХИЊСКЕ СОЛИ:

Ставите две електроде у пластичну посуду са дестилованом водом. Помоћу проводника и батерије повежите ове електроде у електрично коло са амперметром. Ако сада измерите јачину струје у колу, видећете да струја не тече. Додајте постепено кухињску со у воду. Тако настаје раствор у ком настају јони који се крећу и преносе наелектрисање. Утврдите да ли се јачина струје мења када додајете со.

Наелектрисања у течностима и гасовима крећу се под дејством електричног поља, исто као и у чврстим телима. Разлика је у томе што у течностима и гасовима нема слободних електрона. Преносиоци наелектрисања у течностима и гасовима су позитивни и негативни јони.

Течност можемо да укључимо у струјно коло, тако што слободне крајеве металног проводника повезаног на извор струје и потрошач потопимо у течност. Ако се у тој течности, под дејством електричног поља, не раздвају позитивни и негативни јони, онда је та течност изолатор. Чисте течности, као што је на пример, дестилована вода, нису добри проводници – јер у њима нема јона. Ако течност није сасвим чиста, тј. ако у њој има растворених неорганских соли, киселина или база, електрична својства течности мењају се драстично. Чиста вода са чесме је, на пример, добар проводник. То што је вода чиста за пиће, не значи да у њој нема растворених супстанци чији јони могу да преносе струју. Довољно је мало кухињске соли у води, па да се молекули соли раздвоје на позитивне натријумове јоне и негативне јоне хлора. Јони се у затвореном колу струје крећу усмерено, ка електродама, и кроз коло почиње да тече струја. Негативни јони крећу се ка позитивној електроди, а позитивни јони ка негативној електроди. Слично би се десило да је у воду сипана нека друга со, база или киселина. Процес растварања тих молекула у води назива се **електролитичка дисоцијација**. Раствори који проводе струју називају се **електролитима**.

Све течности у људском телу су електролити. У води која чини 75% масе човека, има много растворених минерала и метала. То омогућава електричној струји да пролази кроз људско тело. Струја, при проласку кроз телесне течности, врши електролизу раствора. Тако добијени јони хемијски су још врло реактивни, због чега може доћи до нежељених реакција и поремећаја у раду органа. Мишићи човека се грче при проласку струје, баш као и жабљи батаци у Галванијевом експерименту. Због тога је директан контакт људског тела са електричном струјом веома опасан. Једносмерне струје јаче од 0,05 ампера сматрају се смртоносним. Како је отпорност људског тела приближно хиљаду ома, то значи да извори са напоном већим од 50 волти представљају смртну опасност за оне који њима неопрезно рукују и не придржавају се упутстава. Наизменична струја има још веће ефekte на људско тело, па су и границе за опасну јачину струје и напон – још ниже.



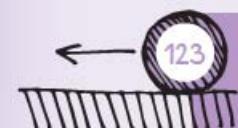
Гасови при атмосферском притиску и малим напонима нису проводници. Ако је поље веома јако, онда ипак долази до електричног пробоја. За ваздух, поље треба да буде јаче од три милиона волти по метру, тј.  $3 \text{ kV/mm}$ . При електричном пробоју, електрони из молекула гаса се откидају и убрзавају. Тако убрзани електрони, при судару са другим молекулом, могу да избију још неки електрон. Тако се добија лавина електрона који се, убрзани пољем, крећу кроз гас од катоде до аноде. Тада процес назива се **гасним пражњењем**.

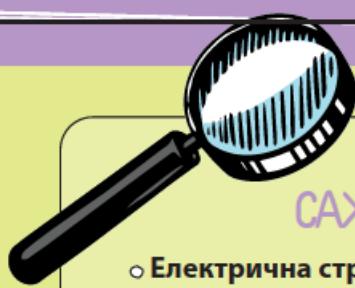
До гасног пражњења долази и у неонским цевима за осветљење. Половином XX века многи електрични уређаји су користили цеви у којима долази до гасног пражњења, на пример, телевизори или први рачунари. Касније су електронске цеви заменили транзистори.



Гасно пражњење у околини Ван де Графовог генератора

- Шта су носиоци на електрисања у течностима и гасовима?
- Шта је основни узрок гасног пражњења?





## САЖЕТАК

- **Електрична струја** је усмерено кретање наелектрисаних честица.
- **Носиоци наелектрисања** су све покретљиве наелектрисане честице.
- **Проводници** су материјали кроз које наелектрисања могу да се крећу.
- **Изолатори** су материјали кроз које наелектрисања не могу да се крећу.
- **Електролити** су течности кроз које може да тече струја захваљујући кретању позитивних и негативних јона.
- **Електрони** се, као негативно наелектрисане честице, крећу у смеру супротном од смера електричног поља.
- **Извори струје** су уређаји који одржавају напон на крајевима проводника.
- **Електроде** су наелектрисане металне плочице према којима се крећу носиоци наелектрисања.
- **Полови извора** су електроде извора струје. Анода је позитиван пол – а катода негативан пол.
- **Електромоторна сила** бројчано је једнака количнику рада и количине наелектрисања које се премести са једног на други пол извора.
- **Струјно коло** је затворена контура сачињена од проводника. У сваком струјном колу морају се налазити извор струје, проводник и потрошач.
- **Прекидач** је елемент струјног кола који служи да се електрично коло лако затвори (пропусти струја кроз коло), или отвори (прекине струју у колу).
- **Потрошач** је уређај који користи електричну струју да би електричну енергију претворио у неки други облик енергије (механичку, топлотну, светлосну итд.).
- **Технички смер** електричне струје је од позитивног ка негативном полу.
- **Физички смер** електричне струје је од негативног ка позитивном полу.
- **Јачина електричне струје** бројчано је једнака количнику количине наелектрисања које протекне кроз попречни пресек проводника и времена за које се то деси.
- **Амперметар** је уређај за мерење јачине струје.
- **Волтметар** је уређај за мерење напона.
- **Електрична отпорност** једнака је количнику напона између две тачке струјног кола и јачине електричне струје која пролази кроз тај део кола.
- Формула за електричну отпорност по **Омовом закону** је  $R = \frac{U}{I}$ .
- **Специфична отпорност** материјала је величина која показује колико добро неки материјал проводи електричну струју.
- **Отпорник** је уређај којим можемо да мењамо јачину електричне струје у колу.

- **Еквивалентна отпорност** је укупна вредност отпора редно, паралелно или мешовито везаних отпорника.
- Када за крај првог отпорника вежемо почетак другог отпорника, онда су они **редно везани**.
- Код редно везаних отпорника, еквивалентну отпорност рачунамо по формулам:  $R_e = R_1 + R_2$ .
- **Чвор струјног кола** је тачка у којој се електрична струја грана или сабира.
- Када су улазни крајеви два отпорника везани у један чвор, а излазни крајеви у други чвор струјног кола, онда су та два проводника **паралелно везана**.
- Код паралелно везаних отпорника еквивалентну отпорност рачунамо по формулам:  
$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$
- **Рад електричне струје** бројчано је једнак производу напона, јачине струје и времена у ком тече струја.
- **Електрична енергија** је способност електричне струје да врши рад.
- **Кратак спој** настаје када полове извора спојимо проводником са јаком малим отпором.
- **Снага електричне струје** је количник рада који изврши електрична струја и времена за који се тај рад оствари.
- Формула за снагу електричне струје је  $P = U \cdot I$ .
- Формула за количину ослобођене топлоте по **Џул-Ленцовом закону** је  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ .



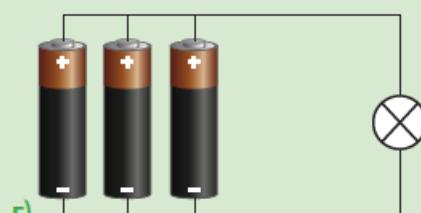
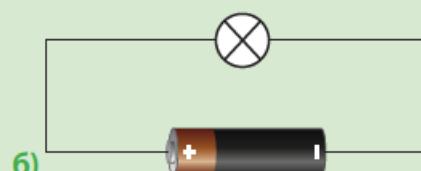
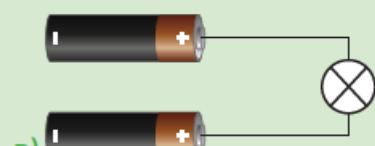
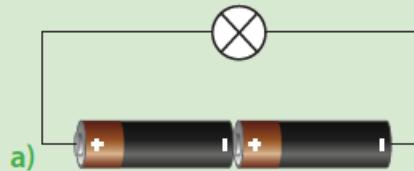
## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Шта је то електрична струја?
2. Шта је то јачина електричне струје и која је мерна јединица за њу?
3. Који услови морају бити испуњени да би кроз проводник потекла електрична струја?
4. Шта су извори електричне струје и које врсте извора знате?
5. Како се назива мерни уређај којим меримо јачину електричне струје?
6. Како се назива мерни уређај којим меримо електрични напон?
7. Од чега све зависи електрична отпорност неког проводника?
8. Шта је то специфична отпорност?
9. Како гласи Омов закон?
10. Чему је једнака снага електричне струје на неком потрошачу?
11. Чему је једнака количина топлоте која се ослободи на неком проводнику када кроз њега протиче струја?
12. Колика је еквивалентна отпорност за два редно везана отпорника?
13. Колика је еквивалентна отпорност за два паралелно везана отпорника?
14. Шта су то електролити?
15. Шта од наведеног није струја?
  - а) Кретање слободних електрона.
  - б) Усмерено кретање наелектрисања.
  - в) Кретање јона између супротно наелектрисаних електрода у електролиту.
  - г) Електрично пражњење.
16. Шта од наведеног није проводник?
  - а) угља
  - б) метал
  - в) морска вода
  - г) суво дрво
17. У којим се мерним јединицама мере изражава електромоторна сила?
  - а) У амперима.
  - б) У волтима.
  - в) У ћутнима.
  - г) У ватима.
18. Шта се у електричним колима означава симболом приказаним на слици?

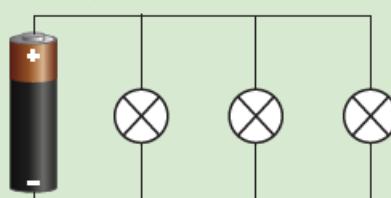


- а) извор
  - б) проводник
  - в) отпорник
  - г) прекидач
19. У ком се смеру крећу електрони у проводнику кроз који протиче једносмерна струја?
  - а) Од пола + ка полу -.
  - б) У техничком смеру.
  - в) У физичком смеру.
  - г) У оба смера дуж проводника.

**20.** Да би сијалица са слике светлела, потребан је извор струје од најмање 1,5 V.  
У којем од приказаних случајева сијалица **неће** моћи да ради, ако је електромоторна сила сваке батерије 1,5 V?



**21.** Како су повезане сијалице на слици?

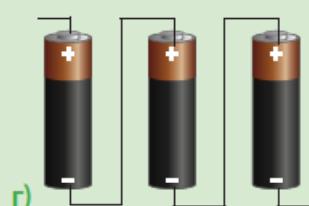
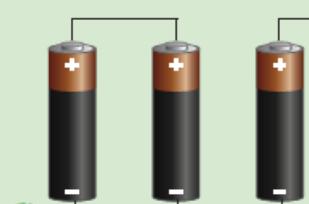
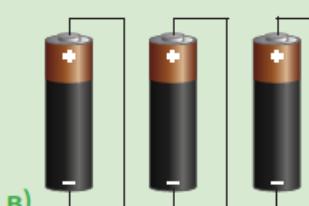
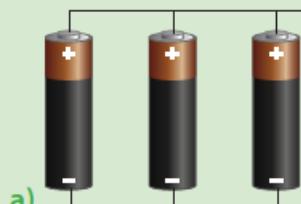


- a)** редно (серијски);    **б)** паралелно;
- в)** мешовито;                **г)** сијалице уопште нису повезане.

**22.** Даљински управљач ради на напону од 4,5 V. Како треба да повежемо три батерије од 1,5 V, да би даљински управљач исправно радио?

- а)** паралелно;                **б)** нормално;                **в)** редно;                **г)** наизменично.

**23.** На којим slikama је приказано како се исправно повезују три батерије од 1,5 V, тако да се добије извор с напоном од 4,5 V? (Има више тачних одговора.)





24. Од чега **не зависи** отпорност проводника?

- a) Од површине попречног пресека;      6) од јачине струје;  
г) од специфичне отпорности;      в) од дужине проводника.

25. Који од наведених материјала има највећу специфичну отпорност?

- a) алуминијум      6) графит      в) злато      г) стакло

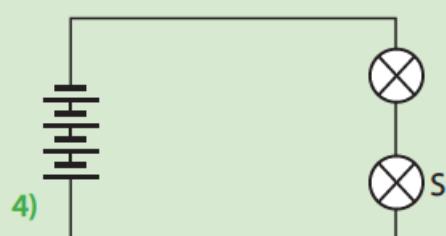
26. Која физичка величина се мења и како, ако се у електричном колу смањује напон?

- a) Отпорност отпорника се смањује;  
б) отпорност отпорника се повећава;  
в) јачина струје која противе кроз отпорник се повећава;  
г) јачина струје која противе кроз отпорник се смањује.

27. Сијалица S повезана је за извор као у једноставном колу са слике.

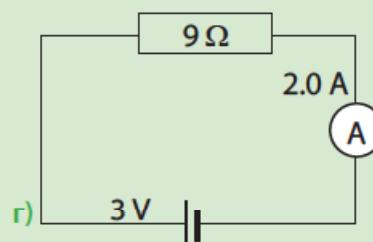
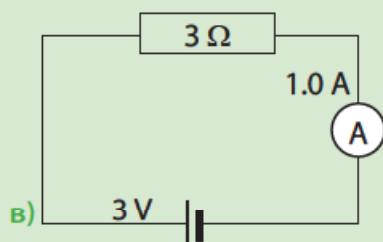
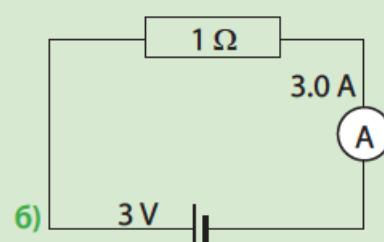
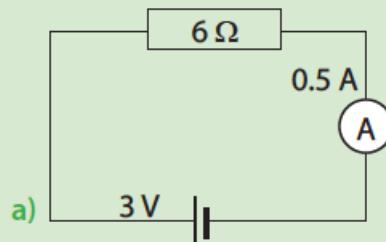


- a) У ком ће од понуђених кола сијалица S светлети исто као у првобитном случају ако све батерије и све сијалице имају исте карактеристике?



- б) У ком колу ће сијалица светлети најјаче, а у ком најслабије?

28. На којој од приказаних слика амперметар показује погрешну вредност јачине струје?

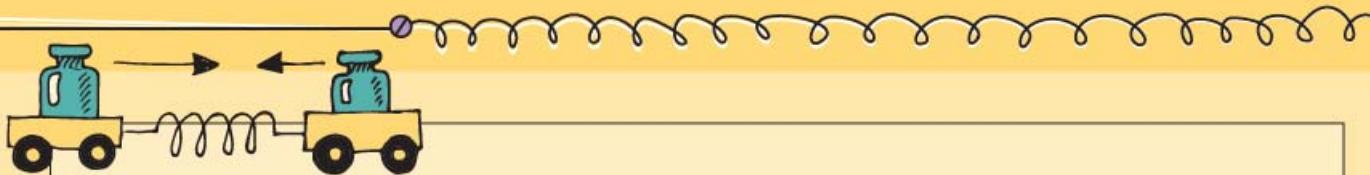


29. Који је од наведених израза за снагу електричне струје тачан?

- а)  $P = \frac{U}{I}$ ;      б)  $P = UI$ ;  
в)  $P = \frac{I}{U}$ ;      г)  $P = U^2R$ .

30. У којим се мерним јединицама мери потрошња електричне енергије у домаћинству?

- а) у ампер-часовима;  
б) у киловат-часовима;  
в) у кулонима;  
г) у киловолтима.



## ПРОЈЕКАТ – ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОДРЕЂИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ОТПОРНОСТИ

**ЦИЉ ПРОЈЕКТА:** Експериментом, тј. мерењем, утврдите да ли је еквивалентна отпорност за три мешовито везана отпорника иста као вредност коју добијамо теоријски, односно рачунски.

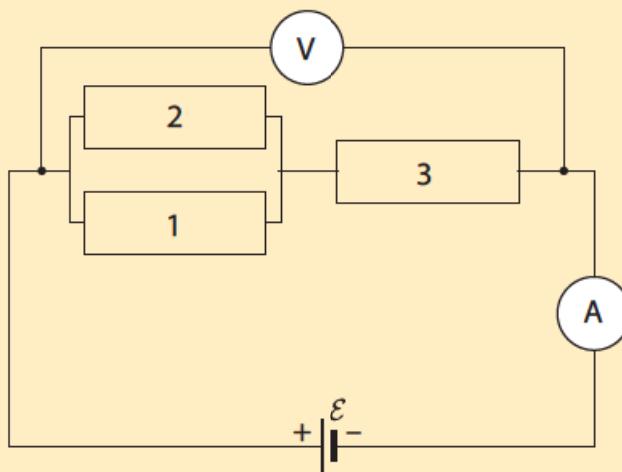
**УПУТСТВО:** За реализацију пројекта потребна је опрема из школске лабораторије. Препоручујемо да се пројекат изводи у групама од пет ученика.

**ТОК ПРОЈЕКТА:** 1. Одaberите пет комбинација од три различита отпорника ( $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ ) познатих отпорности. Запишите које сте отпорнике изабрали.

	$R_1 [\Omega]$	$R_2 [\Omega]$	$R_3 [\Omega]$
1. комбинација			
2. комбинација			
3. комбинација			
4. комбинација			
5. комбинација			

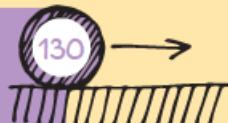
2. За сваку комбинацију отпорника поновите следећи поступак:

Повежите та три отпорника, извор струје, амперметар и волтметар као на слици.



Одредите рачунски еквивалентну отпорност  $R_{er}$  отпорника приказаних на слици користећи правила за израчунавање еквивалентне отпорности редно и паралелно

$$\text{vezanih otpornika: } R_{er} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} + R_3.$$





Измерите јачину струје ( $I$ ) и напон ( $U$ ) између тачака у колу које су означене на слици.



Користећи измерене вредности за напон и јачину струје, одредите вредност еквивалентне отпорности  $R_{em}$ , као количник ове две вредности:  $R_{em} = \frac{U}{I}$ .

3. Упоредите све рачунски и мерењем добијене вредности еквивалентне отпорности.

	Израчуната вредност $R_{er}$ [ $\Omega$ ]	Измерена вредност $R_{er}$ [ $\Omega$ ]
1. комбинација		
2. комбинација		
3. комбинација		
4. комбинација		
5. комбинација		

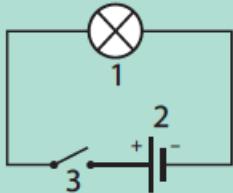
#### ЗАПАЖАЊА:

- Уколико постоје разлике између израчунатих и измерених вредности, дискутујте шта би могли да буду разлози неслагања (нпр. непрецизност инструмената, могуће одступање отпорности од оне декларисане вредности итд.).
- Са наставником дискутујте о томе како проценити грешку мерења. Утврдите да ли је одступање израчунатих и измерених вредности еквивалентне отпорности у складу са процењеном грешком.



## ЗАДАЦИ

1. На слици је приказано струјно коло:

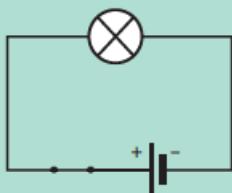


1: \_\_\_\_\_

2: \_\_\_\_\_

3: \_\_\_\_\_

a) Уз бројеве поред слике, напиши називе уређаја који су у струјном колу приказани одговарајућим симболима.



b) Означите стрелицама смер кретања електрона кроз струјно коло када се прекидач затвори.

2. Колика је јачина електричне струје ако кроз проводник за 5s протекне количина наелектрисања од 20 C?

3. Одредити јачину електричне струје која противе кроз струјно коло, ако кроз попречни пресек проводника за 2 минута прође количина наелектрисања од 240 C.

4. Кроз проводник пролази струја јачине 0,5 A. Колика количина наелектрисања пролази кроз проводник за четири секунде?

5. Кроз проводник противе електрична струја јачине 1,5 A. Колика количина наелектрисања протекне кроз попречни пресек проводника за 3 минута?

6. Кроз струјно коло противе електрична струја јачине 50 mA. Колика количина наелектрисања протекне кроз електричну сијалицу, која је прикључена у то струјно коло 30 секунди?

7. Током удара грома, јачина електричне струје износила је 8 000 A, док је том приликом на земљу пренета количина наелектрисања 16 C. Колико је дуго трајало електрично пражњење?

8. Приликом „паљења“ аутомобила, акумулатор за 750 ms преда количину наелектрисања од 150 C. Колика је при томе јачина електричне струје?

9. Кроз проводник противе електрична струја јачине 3,2 A. Колико електрона прође кроз попречни пресек проводника у једној секунди?

10. Колика је електрична отпорност бакарне жице дужине 5 m и површине попречног пресека  $0,05 \text{ mm}^2$  ако је специфична отпорност бакра  $1,7 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ .

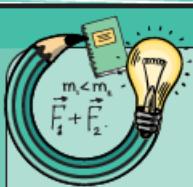
11. Колика је електрична отпорност влакна сијалице направљеног од волфрама? Површина попречног пресека влакна је  $0,001 \text{ mm}^2$ , а дужина 5 cm.

12. Израчунајте електричну отпорност алуминијумске жице пречника 1 mm и дужине 5 m.

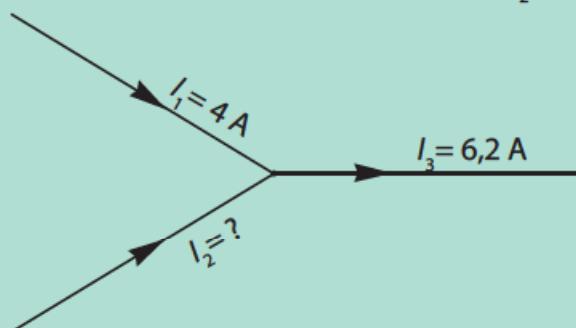
13. Колика је електрична отпорност сребрне жице пречника  $0,5\text{ mm}$  и дужине  $50\text{ cm}$ ?
14. Колика је дужина бакарне жице електричне отпорности  $34\Omega$  и површине попречног пресека  $1\text{ mm}^2$ ?
15. Електрична отпорност бакарне жице дужине  $50\text{ m}$  је  $1\Omega$ . Колики је полупречник жице?
16. У табели су дате специфичне отпорности неких материјала. Који је материјал од наведених најбољи, а који најлошији проводник?

МАТЕРИЈАЛ	СПЕЦИФИЧНА ОТПОРНОСТ [ $\Omega\text{m}$ ]
гвожђе	$1,0 \cdot 10^{-7}$
бакар	$1,7 \cdot 10^{-8}$
сребро	$1,6 \cdot 10^{-8}$
олово	$2,1 \cdot 10^{-7}$
алуминијум	$2,8 \cdot 10^{-8}$

17. Имајући у виду да је електрична отпорност проводника сразмерна његовој специфичној отпорности и дужини, а обрнуто сразмерна површини попречног пресека, одговори на следећа питања:
- Два проводника од истог материјала имају исте површине попречног пресека, а различите дужине. Који од њих има већу отпорност?
  - Два проводника од истог материјала имају исте дужине, а различите површине попречног пресека. Који од њих има већу отпорност?
  - Два проводника од различитих материјала имају исте дужине и површине попречног пресека. Који од њих има мању отпорност?
18. Бакарна жица дужине  $1\text{ m}$  има електричну отпорност  $0,5\Omega$ . Колика је електрична отпорност исте жице дужине  $5\text{ m}$ ?
19. Бакарна жица дужине  $1\text{ m}$  има електричну отпорност  $0,5\Omega$ . Колика је електрична отпорност бакарне жице дужине  $1\text{ m}$ , која је дупло тања?
20. Два проводника од истог материјала имају исте површине попречних пресека. Дужина једног проводника је  $40\text{ cm}$ , а другог  $3,6\text{ m}$ . Који проводник има већу електричну отпорност и колико пута?
21. Два проводника истих дужина направљена су од истог материјала. Полупречник једног проводника је  $2\text{ mm}$  а другог  $4\text{ mm}$ . Који проводник има већу електричну отпорност и колико пута?
22. Један проводник је направљен од бакра, а други од алуминијума. Проводници имају исте дужине и површине попречног пресека. Који проводник има мању електричну отпорност и колико пута?
23. Електрична отпорност проводника је  $4\Omega$ . Колика ће бити јачина електричне струје која протиче кроз овај проводник ако је на његовим kraјевима напон од  $12\text{ V}$ ?
24. Електрична сијалица отпорности  $15\Omega$ , прикључена је на напон од  $4,5\text{ V}$ . Колика је јачина електричне струје која протиче кроз сијалицу?
25. Електрична сијалица је прикључена на напон од  $12\text{ V}$ . Колика је електрична отпорност сијалице ако кроз њу протиче електрична струја јачине  $0,3\text{ A}$ ?

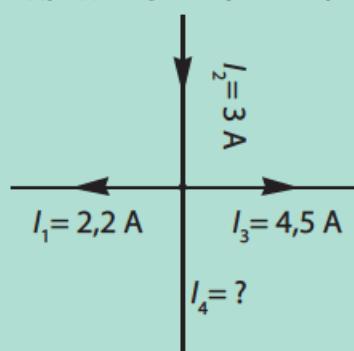


26. У простом колу инструмент показује 1,5 A. Колики је напон на отпорнику од  $10\ \Omega$ ?
27. Колика је електрична отпорност сијалице, ако кроз њу протиче електрична струја јачине 0,5 A, када је прикључена на напон 120 V?
28. Кроз сијалицу електричне отпорности  $12\ \Omega$  протиче електрична струја јачине 0,5 A. На колики напон је прикључена ова сијалица?
29. На колики напон треба да се прикључи потрошач електричне отпорности  $50\ \Omega$ , да би кроз њега протицала електрична струја јачине 0,24 A?
30. Електрична сијалица је прикључена на напон од 12 V. Јачина електричне струје која протиче кроз сијалицу је 3 A. Попречни пресек влакна сијалице је  $4,9 \cdot 10^{-9}\ m^2$ , специфична отпорност материјала од кога је направљено влакно сијалице је  $5,6 \cdot 10^{-7}\ \Omega \cdot m$ . Одредите колика је дужина влакна сијалице.
31. Одредите јачину електричне струје  $I_2$ , са слике.

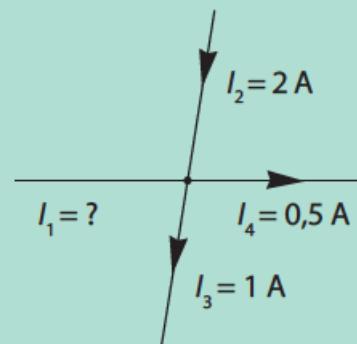
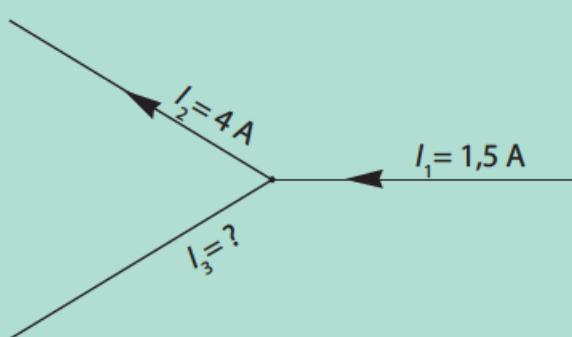


**Упутство:** На основу I Кирхофовог правила знамо да је збир јачина електричних струја које утичу у један чврт електричног кола једнак збиру електричних струја које из њега истичу.

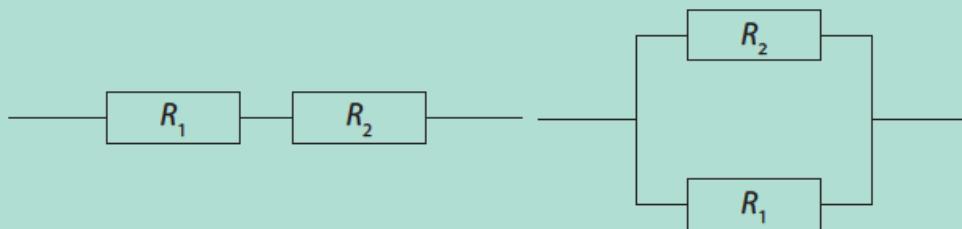
32. Одредите јачину и смер електричне струје  $I_4$  (са слике).



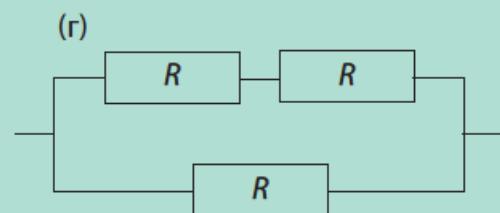
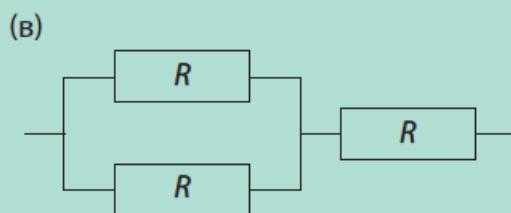
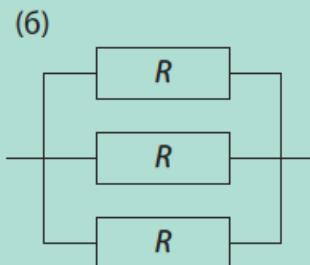
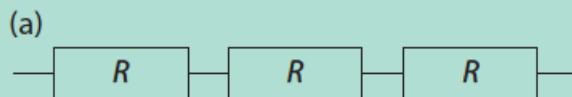
33. Одредите непознату јачину и смер електричне струје у примерима приказаним на slikama:



34. Отпорници од  $R_1 = 3 \Omega$  и  $R_2 = 6 \Omega$  повезани су редно, а затим паралелно. Колике су укупне отпорности ових веза?

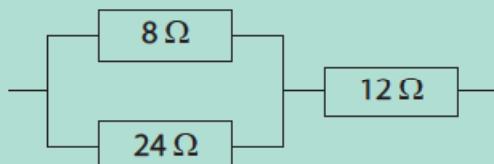


35. Отпорници од по  $R = 18 \Omega$  везани су као на слици. Колика је еквивалентна отпорност у сваком примеру?



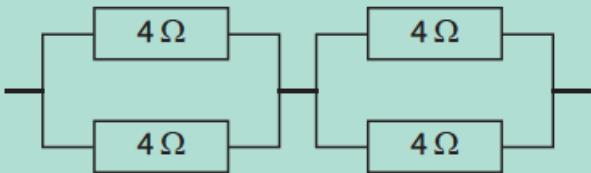
36. Које све вредности укупне отпорности могу да се добију комбинацијом три отпорника од  $6 \Omega$  (4 комбинације)?

37. Колика је укупна отпорност везе отпорника:



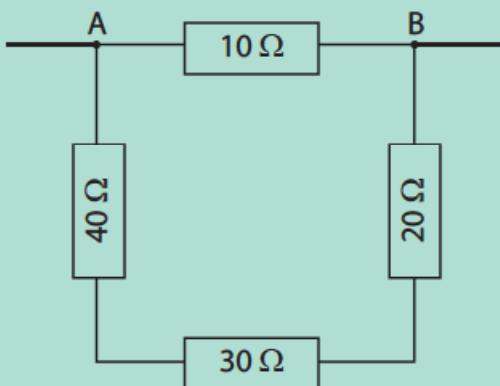


38. Колика је укупна отпорност везе отпорника:

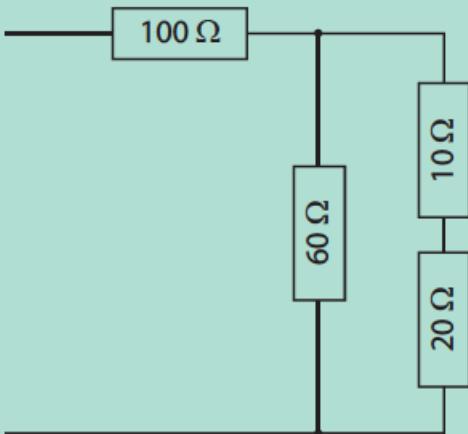


39. Колики отпорник треба повезати паралелно са отпорником од  $20\ \Omega$ , да би укупна отпорност била  $10\ \Omega$ ?

40. Одредите електричну отпорност између тачака A и B:



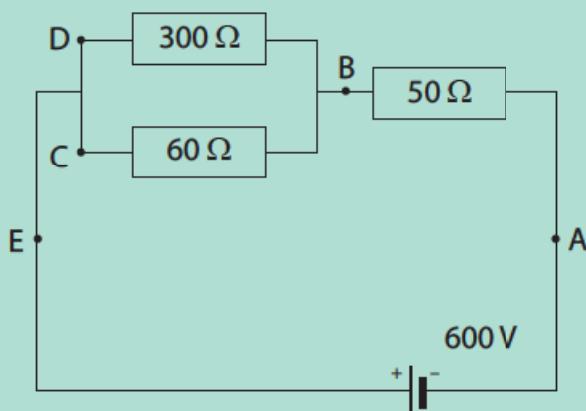
41. Одредите укупну отпорност приказане везе отпорника:



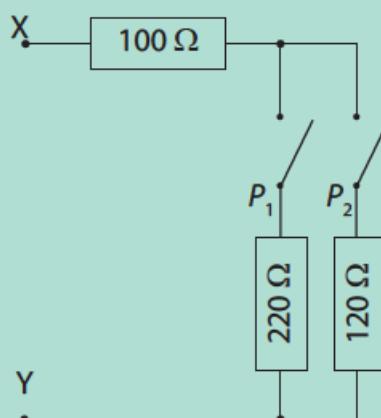
42. Два отпорника су повезана редно у струјно коло. Ако кроз струјно коло протиче електрична струја јачине  $0,5\text{ A}$ , колика је јачина електричне струје кроз сваки отпорник?

43. Отпорници од  $2\ \Omega$  и  $6\ \Omega$  повезани су редно и прикључени на напон од  $12\text{ V}$ . Колика је јачина електричне струје која протиче кроз отпорнике? Колики је напон на сваком отпорнику?

44. Три отпорника су прикључена редно на напон од 6 V. Ако су њихове отпорности  $2\Omega$ ,  $4\Omega$  и  $6\Omega$ , колики је напон на сваком отпорнику?
45. Отпорници од  $2\Omega$  и  $6\Omega$  повезани су паралелно и прикључени на напон од 12 V. Колика је јачина електричне струје која протиче кроз отпорнике? Колики је напон на сваком отпорнику?
46. Три отпорника електричних отпорности  $2\Omega$ ,  $4\Omega$  и  $12\Omega$  повезана су паралелно и прикључена на напон од 6 V. Колика је јачина електричне струје која протиче кроз струјно коло? Колика је јачина електричне струје која протиче кроз отпорнике?
47. Одредите јачине електричне струје које протичу кроз тачке A, B, C, D, E означене на слици:

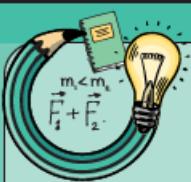


48. На слици је приказан део струјног кола са отпорницима и прекидачима:

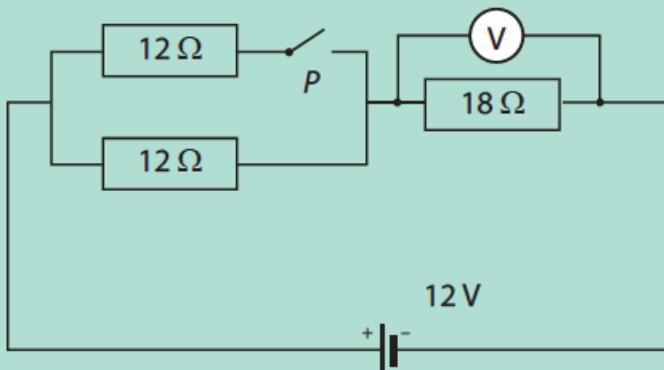


Колика је укупна отпорност између тачака X и Y:

- ако су прекидачи отворени (објасните)
- ако је прекидач  $P_2$  отворен, а прекидач  $P_1$  затворен
- ако је прекидач  $P_1$  отворен, а прекидач  $P_2$  затворен
- ако су затворена оба прекидача



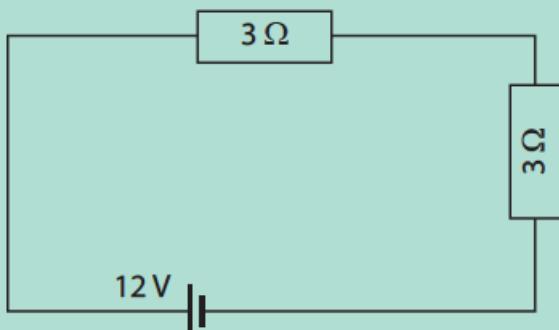
49. На слици је приказано струјно коло:



Колику вредност напона показује волтметар:

- a) када је прекидач Р отворен
- б) када је прекидач Р затворен

50. У електричном колу постоје два отпорника истих отпорности, везана као на слици. Колика је јачина струје која протиче кроз батерију у том колу?

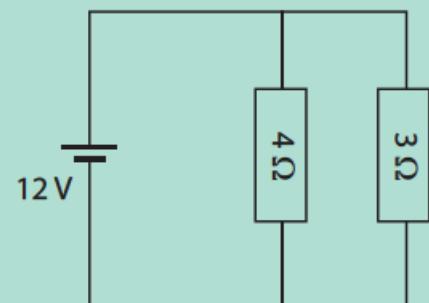


51. Батерија од 9 V повезана је са сијалицом која има отпорност  $18\Omega$ . Колика је јачина струје у том струјном колу?

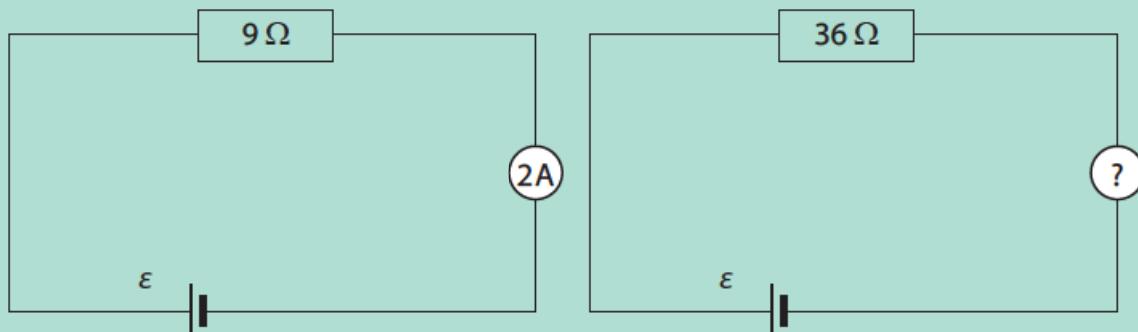
52. Кроз електрични апарат протиче струја јачине 0,5 A кад је везан за напонски извор од 24 V. Колика је отпорност тог апартата?

53. Струја јачине 0,2 A пролази кроз два редно везана отпорника. Први отпорник има отпорност  $10\Omega$ , а други  $20\Omega$ . Колики је укупан пад напона на та два отпорника?

54. Колика је јачина струје која протиче кроз отпорник од  $4\Omega$  у колу приказаном на слици?

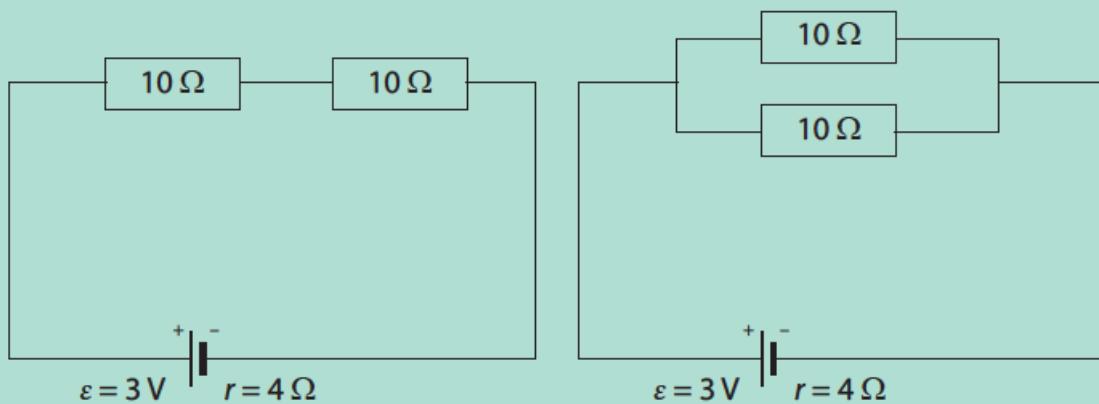


55. Два отпорника, приказана на slikama, повезана су са два извора исте електромоторне силе. Отпорник 1 има отпорност  $9\Omega$ , а отпорник 2 има отпорност  $36\Omega$ . Јачина струје која пролази кроз отпорник 1 је 2 A. Колика је јачина струје која пролази кроз отпорник 2?



56. На извор електромоторне силе  $2,4\text{ V}$  и унутрашње отпорности  $0,2\Omega$ , прикључен је потрошач отпорности  $1,8\Omega$ . Нацртајте струјно коло и одредите јачину електричне струје у струјном колу.

57. Израчунајте јачину електричне струје која протиче кроз струјно коло приказано на slikama:



58. Акумулатор аутомобила има електромоторну силу  $12\text{ V}$  и унутрашњу отпорност  $0,04\Omega$ . Стартер мотора повлачи струју јачине  $100\text{ A}$ . Одредите пад напона на акумулатору када је стартер мотора активан.

59. На извор електромоторне силе  $6\text{ V}$  и унутрашње отпорности  $0,5\Omega$ , прикључен је потрошач отпорности  $2,5\Omega$ . Колики је напон на потрошачу?

60. Електромоторна сила батерије је  $4,5\text{ V}$ . Када се на батерију повеже отпорник од  $12\Omega$ , напон, односно пад напона на њему је  $4,32\text{ V}$ . Колика је унутрашња отпорност батерије?

61. У електричном колу су амперметар и отпорник променљиве отпорности. У табели су дате измерене вредности јачине струје за различите вредности отпорности. На основу података из табеле, одреди колики је пад напона на отпорнику.

Отпорност  $[\Omega]$  Јачина струје  $[A]$

2,5	12,2
5,1	6,0
10,3	2,9
14,9	2,0



62. График приказује зависност јачине струје од напона на отпорнику. Колика је отпорност тог отпорника?

Јачина струје (A)



63. Одредите укупну електромоторну силу комбинације извора приказане на слици. Електромоторна сила сваког извора је 1,5 V.

a)



б)



в)



64. Акумулатор камиона даје напон од 24 V. Ако је свака ћелија ствара напон од 2 V, колико ћелија има акумулатор?

65. Колико извора електромоторне сile 1,5 V је потребно да би се добила батерија од 9 V?

66. На располагању имате пет извора електричне струје, сваки електромоторне сile 1,5V. Како можете комбинацијом ових извора да добијете следеће електромоторне сile:

a) 7,5 V

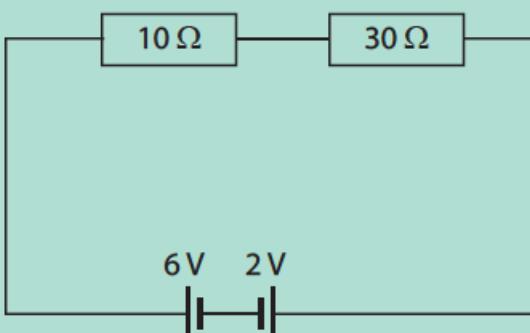
б) 1,5 V

в) 4,5 V

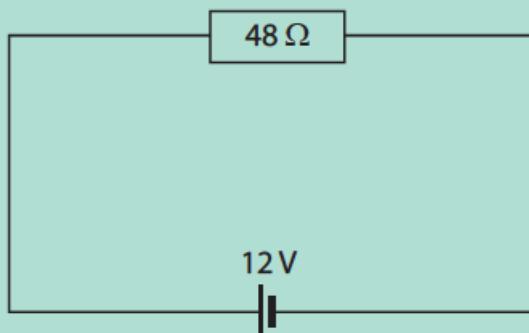
**Напомена:** У сваком од наведених примера морате да употребите свих пет извора електричне струје, редно везаних.

Задатак решити графички и рачунски.

67. Одредите јачину електричне струје у струјном колу приказаном на слици:



- 68.** Два идентична извора електричне струје повезана су редно. Електромоторна сила сваког извора је  $1,5\text{ V}$  и унутрашње отпорности по  $0,2\text{ }\Omega$ .
- Одредите укупну електромоторну силу и укупну унутрашњу отпорност ове везе.
  - На овако повезане изворе прикључен је потрошач отпорности  $2\text{ }\Omega$ . Одредите јачину електричне струје која протиче кроз потрошач.
- 69.** Четири идентична извора електричне струје, електромоторних сила  $1,5\text{ V}$  и унутрашњих отпорности  $0,1\text{ }\Omega$ , повезана су редно. На овако формирани батерију повезан је отпорник од  $2\text{ }\Omega$ . Одредите јачину електричне струје која протиче кроз овај отпорник.
- 70.** Кроз проводник противе електрична струја јачине  $2\text{ A}$ . Колика рад изврши електрична струја за  $1$  минут? Напон на крајевима проводника је  $12\text{ V}$ .
- 71.** Електрична струја јачине  $20\text{ A}$  противе кроз потрошач  $20\text{ s}$ . Том приликом изврши рад од  $400\text{ J}$ . Колика количина наелектрисања протекне кроз потрошач? Колики је напон на потрошачу?
- 72.** Акумулатор аутомобила даје електричну струју напона  $12\text{ V}$  и јачине  $10\text{ A}$ . Колико електричне енергије потроши аутомобил за  $2$  сата?
- 73.** Соларна ћелија даје електричну струју јачине  $30\text{ mA}$  у току  $5$  минута. У току тог интервала напон који ствара ћелија је  $0,9\text{ V}$ . Израчунајте укупну енергију трансформисану у соларној ћелији.
- 74.** Израчунајте колико се хемијске енергије трансформише у електричну у батерији стварајући разлику потенцијала на њеним половима од  $1,5\text{ V}$ . Кроз батерију протекне количина наелектрисања од  $20\text{ C}$ .
- 75.** Сијалица од  $150\text{ W}$  је у току дана укључена укупно  $3$  сата. Колико електричне енергије потроши ова сијалица?
- 76.** Колика је снага отпорника у струјном колу приказаном на слици?

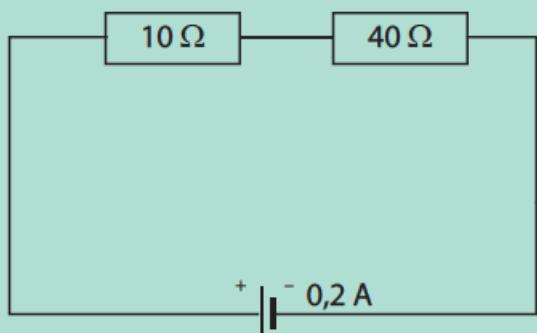


- 77.** Колико струје потроши електрични грејач снаге  $1,5\text{ kW}$  за  $24\text{ h}$ ? Ако киловат-час електричне енергије кошта  $5$  динара, за колико динара се сваког дана повећава износ рачуна због ове потрошње?
- 78.** Показати да је  $1\text{ kWh}$  једнако  $3,6\text{ MJ}$ .
- 79.** Колика је снага електричне грејалице ако кроз њу противе електрична струја јачине  $9\text{ A}$ , када је прикључена на напон од  $220\text{ V}$ ?
- 80.** Електрична централа снабдева електричну мрежу електричном струјом напона  $25\text{ kV}$ . При максималној снази јачина електричне струје у мрежи је  $40\text{ kA}$ . Колика је максимална снага ове електричне централе?



81. Колика је снага тостера електричне отпорности  $40\ \Omega$ , који је прикључен на напон од  $220\text{ V}$ ?

82. На слици је приказано струјно коло.



Израчунајте снагу која се губи на сваком отпорнику.

83. На електричној сијалици пише:  $220\text{ V} / 60\text{ W}$ .

a) Шта означавају ови бројеви?

b) Колика јачина електричне струје протиче кроз сијалицу?

c) Колика је отпорност сијалице при максимално искоришћеној снази?

84. Електрична централа снаге  $20\text{ MW}$  снабдева електричну мрежу електричном струјом напона  $200\text{ kV}$ . Колика је јачина електричне струје у мрежи? Из електричне централе струја се до потрошача доводи проводницима дужине  $15\text{ km}$ . Електрична отпорност проводника је  $0,2\text{ k}\Omega$  по километру. Колика снага се губи на проводницима приликом преноса електричне струје?

85. Да ли електрични осигурач од  $10\text{ A}$  може да издржи оптерећења када се укључи електрична грејалица снаге  $1500\text{ W}$ ? Напон у електричној мрежи је  $220\text{ V}$ .

86. Потрошач је прикључен на извор напона  $12\text{ V}$ . Колика се количина топлоте ослободи у потрошачу за  $30$  минута, ако кроз њега протиче електрична струја јачине  $3\text{ A}$ ?

87. Кроз проводник отпорности  $10\ \Omega$  протиче електрична струја јачине  $5\text{ A}$ . Колика се количина топлоте ослободи у проводнику за  $10$  минута?

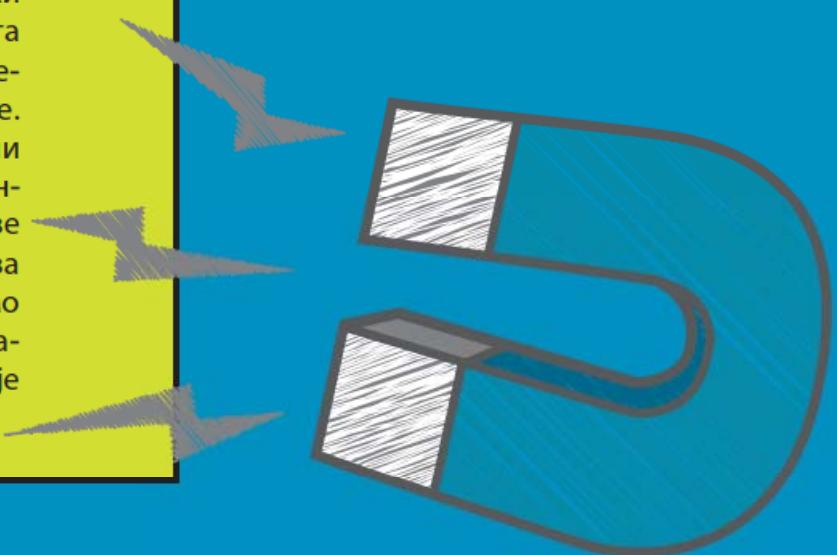
88. Колика је отпорност грејача електричне грејалице, која је укључена на напон од  $220\text{ V}$ , ако она за  $5$  минута рада ослободи количину топлоте  $360\text{ kJ}$ ?

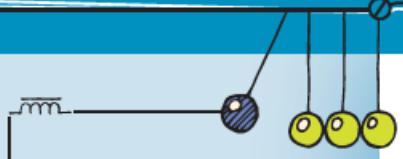
# МАГНЕТНО ПОЉЕ

У овом поглављу ћете се упознати са:

- магнетизмом, односно магнетима и њиховим својствима,
- узрочно-последичним везама магнетизма и електричне струје.

Иако је планета Земља један велики магнет, намагнетисана тела нису честа у природи. Својства магнета су интересантна, пре свега, са аспекта примене. Бештачки створени магнети су постали неизоставни део скоро свих електронских уређаја. Савремена физика појаве електричног тока и магнетизма проучавају једно у оквиру области коју називамо електромагнетизам. Успешно проучавање електромагнетних појава довело је до технолошке револуције.





- магнетизам
- магнет
- магнетизација
- стални магнети
- привремени магнети
- магнетни дипол



### САЗНАЈ ВИШЕ

**Ханс Кристијан Ерстед** (1777–1851, Копенхаген) био је дански физичар и хемичар. Први је открио повезаност електричитета и магнетизма. Тиме је започео обједињавање ове две физичке дисциплине у једну јединствену – електромагнетизам.

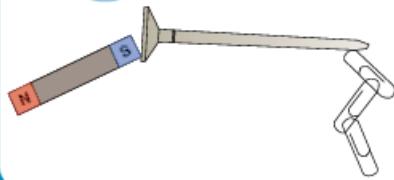
Значајан допринос у хемији дао је тиме што је први произвео алуминијум.



Ханс Кристијан Ерстед



### ОГЛЕД

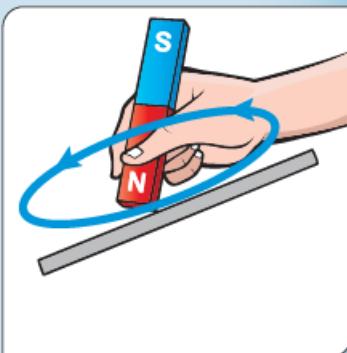


**МАТЕРИЈАЛ:** магнет, ексер, спајалице.

**ОПИС РАДА:** Пример привременог магнeta је ексер дотакнут магнетом.

Док су ексер и магнет у контакту, ексер се понаша као магнет и привлачи спајалице.

**ОПАЖАЊЕ:** Шта се дешава када скинемо магнет?



Намагнетисавање  
гвоздене шипке



Магнети су познати људима од давнина. Грчки филозофи су их описивали још у 6. веку пре нове ере. Реч *маїнеш*, која је ушла у све светске речнике, грчког је порекла. Својство магнетне игле да показује правац север-југ било је коришћено у Кини још пре нове ере. У средњем веку утврђено је да комад гвожђа може да постане магнет ако преко њега прелазимо другим магнетом.

Слично као код наелектрисавања, тело може да се намагнетише директним контактом, али и без контакта. Ако дуж гвоздене шипке прелазимо магнетом додирујући шипку, и то поновимо неколико пута, шипка ће постати магнет. Да ли ће тело трајно остати намагнетисано, зависи од материјала који покушавамо да намагнетишимо.

# ПОЈАВА МАГНЕТИЗМА

Својство материјала да привлачи гвоздене предмете у својој околини назива се **магнетизам**. Тела начињена од оваквих материјала са овим својством називају се **магнети**.

Магнети, осим тога што могу да привлаче гвоздене предмете, могу и да их намагнетишу. Тако други гвоздени предмети добијају магнетна својства и постају магнети. Тај процес назива се **намагнетисавање**. Касније ћете видети да, осим магнетом, намагнетисавање може да се изврши и деловањем електричне струје, односно стављањем гвозденог предмета унутар калема кроз који протиче струја.

Неки материјали могу да задрже магнетна својства дugo пошто се обави магнетизација. Такви магнети називају се **стални магнети**. Постоје и материјали који задржавају магнетна својства само док траје магнетизација. Такви магнети називају се **привремени магнети**.

У сталне магнете спадају магнети који се налазе у природи (природни магнети) и магнети које добијамо вештачки. Вештачки стални магнети израђују се од феромагнетних материјала (најчешће легура гвожђа, кобалта или никла). Касније ћете видети да у привремене магнете спадају и електромагнети које чине гвоздена језгра око којих противе струја. Када престане ток струје, електромагнет губи магнетна својства. То је пример привременог магнета. Ако бисмо уместо гвозденог језгра користили челично језгро, челик би, и после искуљивања струје, остао магнет.

Примене сталних и привремених магнета веома су бројне. Навешћемо само неколико уређаја који без магнета не би могли да функционишу: компаси, електромотори, хард-дискови, дизалице, медицински скенери итд.

**МАТЕРИЈАЛ:** магнет, ексер, спајалице.

**ОПИС РАДА:** Пример привременог магнeta је ексер дотакнут магнетом.

Док су ексер и магнет у контакту, ексер се понаша као магнет и привлачи спајалице.

**ОПАЖАЊЕ:** Шта се дешава када скинемо магнет?





### ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** магнет, одвијач (шрафцигер), шрафови.

**ОПИС РАДА:** Стални магнет превуците у једном смеру дуж одвијача (шрафцигера) двадесетак пута. После тога принесите одвијач малим шрафовима

**ОПАЖАЊЕ:** Описите шта се догађа са шрафовима.

Магнети имају два пола која називамо северни и јужни магнетни пол. Означавају се словима **N** (*North* значи север) и **S** (енглеска реч *South* значи југ). Ова два пола се обично обележавају и бојом: црвено је северни пол, а плаво јужни пол. Слично као код наелектрисаних тела: различити полови намагнетисаних тела се привлаче, а исти полови се одбијају. За разлику од наелектрисаних тела, магнети не могу да имају само један пол. Не постоје магнети само са северним или само са јужним полом. Ако спојите два магнета тако што спојите северни пол једног са јужним полом другог – добићете нови, већи магнет, који опет има два пола. Слично се дешава и када делимо магнет. Ако један дужи магнет поломимо и поделимо на два дела, сваки од та два дела ће постати нови магнет који има два пола. Колико год да делимо магнет, сваки овако добијени комад метала биће магнет са два пола, тј. **магнетни дипол**.



### ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** магнети.

**ОПИС РАДА:** Узмите два магнета са обележеним половима. Приближавајте магнете тако да им приближавате истоимене половине. Шта се догађа? Сада приближавајте супротне половине.

**ОПАЖАЊЕ:** Шта се у овом случају дешава? Изведите закључак.



### САЗНАЈ ВИШЕ

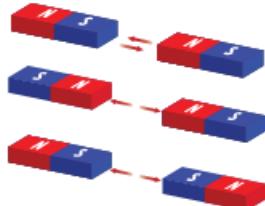
Гвоздена руда која привлачи гвоздене предмете – магнетит – откриvenа је у старом веку.



Гвоздена руда



Дељење магнета на два дела



Одбијање и привлачење магнета



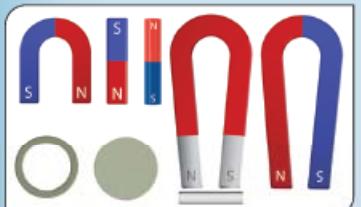
### САЗНАЈ ВИШЕ

**Најјачи стални магнети** који се данас могу наћи начињени су од легуре неодимијума ( $Nd$ , односно  $Nd_2Fe_{14}B$ ). Они могу да носе сто пута већу масу од сопствене.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Реч *дијоп* је грчког порекла и означава тело са два пола. Слично, реч монопол обележава тело са само једним полом. Магнетни монопол није откриven ни у природи ни у лабораторијама.



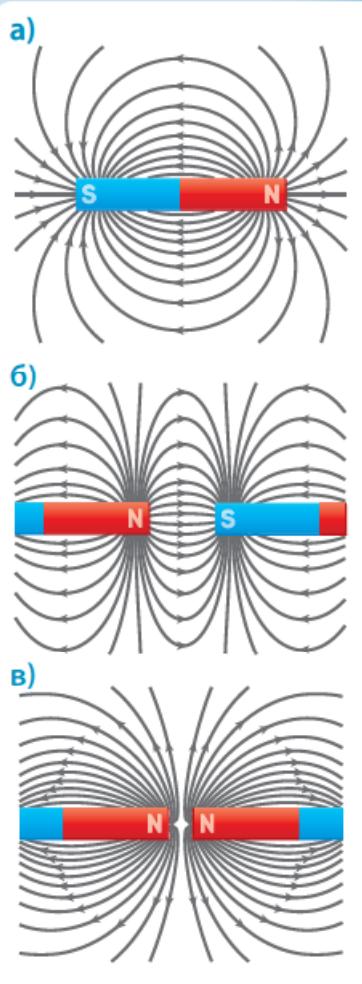
Различити облици магнета



- Од којих се материјала најчешће праве магнети?
- Која су два начина на који гвоздени предмети могу да се намагнетишу?
- Шта се дешава ако два шипкаста магнета ставимо један поред другог и они се привуку и споје?

# МАГНЕТНО ПОЉЕ

- магнетно поље
- магнетна индукција
- линије сила магнетног поља (силница)
- Земљино магнетно поље
- магнетни полови Земље

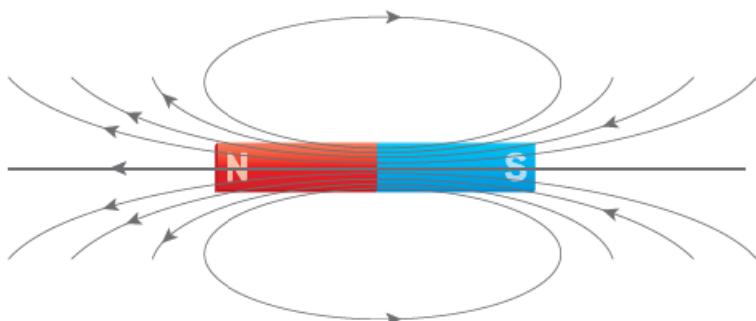


Магнетне линије сила:  
а) магнета,  
б) два магнета супротних половса,  
в) два магнета истих половса



**МАТЕРИЈАЛ:** магнет и кутија са ексерчићима.

**ОПИС РАДА:** Приђите магнетом ексерчићима и подигните га. Приметићете да се не лепе сви ексерчићи за магнет него и једни за друге – при чему формирају структуре које личе на ланце. Разлог за то је што гвоздени ексерци у контакту са магнетом и сами постају магнети. Ексерчићи се, као магнети, најлакше везују за оне друге на слободном крају који је постао пол магнета.



Линије сила пролазе кроз цео магнет



Магнет с ексерчићима



## ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** Уместо ексерчића узмите врло ситне металне опиљке.

**ОПИС РАДА:** Пошто је тако мале металне предмете касније тешко скинути са магнета, препоручујемо да их не стављате директно у контакт. Довољно је да опиљке ставите на папир са горње стране, а да магнет ставите испод папира. Погледајте како ће се опиљци распоредити. Пробајте ово са различитим положајима магнета. Видећете да опиљци формирају некакве ланце, и да их највише има у близини крајева, односно полове магнета. Полови магнета највише привлаче опиљке јер је ту магнет најјачи.



Магнет с опиљцима

Распоред опиљака у претходном огледу осликава магнетно поље магнета. Графички, магнетно поље можемо да прикажемо **магнетним линијама силе ( силница ма )**.

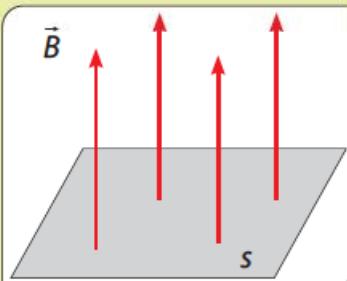


### САЗНАЈ ВИШЕ

Строго говорећи, интензитет магнетне индукције се одређује преко броја линија сила које пролазе кроз одређену површ.

Број линија магнетног поља које пролазе кроз површ која је нормална на магнетне линије сile назива се **магнетни флукс** и обележава са  $\Phi$ . Мерна јединица за магнетни флукс је **вебер [Wb]**.

$$B = \frac{\Phi}{S}$$



Магнетни флукс

**Интензитет магнетне индукције** једнак је количнику магнетног флукаса и површине површи нормално постављене на магнетне линије сile.

$$T = \frac{Wb}{m^2}$$

Мерна јединица за магнетну индукцију је **тесла [T]** и одређена је као вебер по квадратном метру.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Различити материјали различито реагују на спољашње магнетно поље. Неки промене своју структуру тако да мало појачају то поље. Та врста магнетизма је врло честа у природи и назива се **парамагнетизам**. Ово се догађа нпр. код алуминијума.

Код других материјала, нпр. злата, сребра или цинка, индукује се магнетно поље супротног смера у односу на спољашње, па тако долази до слабљења магнетног поља. Ова врста магнетизма се назива **дијамагнетизам**.

Трећа важна врста магнетизма је карактеристична за гвожђе, никал, кобалт, гадолинијум и њихове легуре. Код њих се јавља спонтана магнетизација. У спољашњем пољу ови материјали постају индуктовани магнети. Они могу да остану магнети и после престанка дејства спољашњег поља. Ова врста магнетизма назива се **феромагнетизам**, а материјали који имају то својство феромагнетици.



Компас



### САЗНАЈ ВИШЕ

Северни, црвени крак компаса увек се окреће ка јужном полу магнета у својој близини. Ако Земљу замислимо као огромни магнет, приметићемо да игла компаса показује север тамо где очекујемо јужни пол магнета. До ове недоследности долази из историјских разлога. Земљин северни магнетни пол је, по дефиницији, географски појам, тачка на површини Земље близу северног географског пола.

## КОМПАС

Компас је хоризонтално постављена намагнетисана игла (**магнетна игла**) која може слободно да се окреће око вертикалне осе. Крак магнетне игле који се окреће ка северу обележавамо црвеном бојом, а крак који се окреће ка југу – плавом. Магнетна игла брзо и лако реагује на магнете у својој околини. Због тога је компас често коришћен инструмент за детекцију предмета који имају магнетна својства. Полови магнета могу да се одреде помоћу компаса. Ако је у близини компаса јужни пол магнета, ка њему ће се окренути црвени крак игле компаса. У супротном случају, када је у близини компаса северни пол, ка њему ће се окретати плави крак компаса.

## МАГНЕТНО ПОЉЕ ЗЕМЉЕ

Називи полова сталних магнета, северни и јужни, дати су према странама света. То је последица чињенице да је прва права примена магнета била прављење компаса, уређаја који омогућава једноставно одређивање страна света. Много касније су људи схватили да магнетна игла реагује на **Земљино магнетно поље**, односно да је Земља један огромни магнет.

Земљино магнетно поље је слабо у поређењу са сталним магнетима, али је доволнојако да може да се користи за навигацију. Уколико у близини нема јачих магнета, игла компаса увек прати магнетне линије сила Земљиног магнетног поља и црвени крак компаса показује север. Када се приближавамо северном или јужном полу наше планете, правац који показује компас постаје мање поуздан. Магнетни полови Земље се налазе близу географским половима али се не поклапају. Када бисмо дошли на место северног магнетног поља Земље, црвени крак магнетне игле компаса би показивао окомито на доле. То је место где увиру магнетне линије сила. То је Земљин северни магнетни пол. На супротној страни планете постоји место одакле извиру линије сила – Земљин јужни магнетни пол. **Магнетни полови Земље** су места на њеној површи где магнетске линије вертикално пролазе кроз Земљину површ.



Положај северног магнетног поља Земље





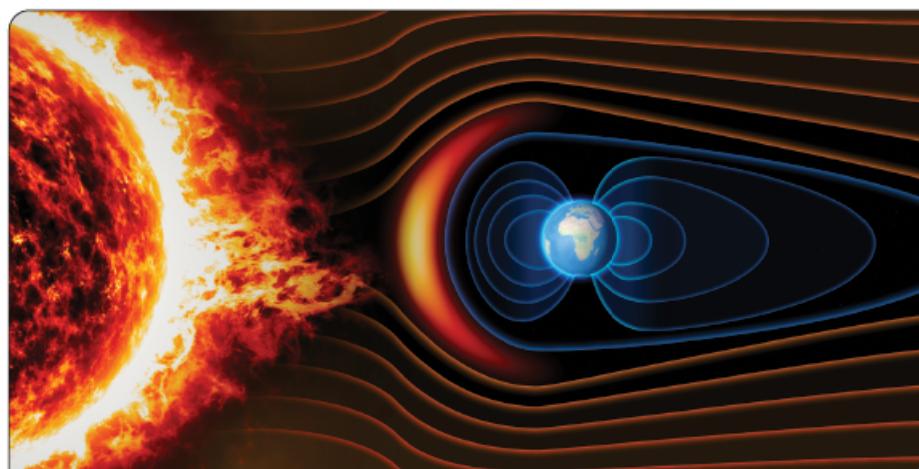
### САЗНАЈ ВИШЕ

Позиције северног и јужног магнетног поља Земље нису сталне и померају се брзином од приближно 50 километара годишње. На слици је приказано како се мењао положај Земљиног северног магнетног поља од 1900. године до данас.

Промена положаја северног магнетног поља Земље



Ефекти и примене Земљиног магнетног поља су бројни. Оријентација помоћу магнетног поља је само једна од тих примена. Важна улога магнетног поља Земље је што штити планету, а пре свега живи свет на њој, од наелектрисаних честица које долазе са Сунцем. Млазеве брзих, наелектрисаних честица које долазе са Сунцем, називамо „Сунчев ветар“. Када би све те честице дошли до површине Земље, биле би смртоносне за многа жива бића. Због магнетног поља Земље, те честице заобилазе Земљу и само мали део њих долази до Земљине површине. Некада на Сунцу долази до експлозија које појачавају то зрачење. Тада на Земљи може доћи до сметњи на телекомуникационим везама, или чак до сметњи у напајању електричном струјом. Места која су посебно изложена честицама „Сунчевог ветра“ јесу области близу Земљиних магнетних половина.



Магнетно поље као штит од „Сунчевог ветра“



- Шта нам о магнетном пољу говори то што су на одређеном месту магнетне линије сила гушће него у околини?
- Где су почетак и крај магнетних линија сила?
- Због чега у близини Земљиних магнетних половина хоризонтално постављен компас не може поуздано да покаже правац север-југ?

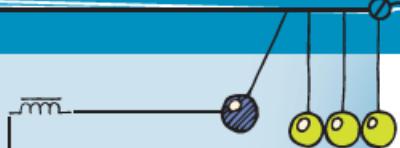


### САЗНАЈ ВИШЕ

Поларна светлост је појава трепераве светлости на ноћном небу, која настаје зато што наелектрисане честице, које са Сунца стижу до Земље, скрећу се магнетним половима. Млаз наелектрисаних честица који је све гушћи како се честице приближавају полу, у судару са молекулама из атмосфере, стварају ту светлост. Она се углавном види само у поларним пределима. Латински назив поларне светлости на Северном полу се назива *Aurora borealis*, а на Јужном *Aurora australis*.



Поларна светлост



- Ерстедов експеримент
- правило десне шаке
- калем (соленоид)
- електромагнет

# МАГНЕТНО ПОЉЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ

Магнетно поље не мора да потиче само од сталног магнета. Кретање наелектрисања такође узрокује појаву магнетног поља. Електрична струја јесте кретање наелектрисања и зато се у околини проводника у електричном колу увек јавља магнетно поље. Ову тврдњу је лако проверити. Довољно је да принесете компас проводнику кроз који тече струја. Видећете да игла компаса скреће. То је последица магнетног поља које се ствара око проводника.

Дански физичар Ханс Кристијан Ерстед, извео је 1820. године експеримент којим је доказао да **електрична струја ствара магнетно поље**. У његову част, овај експеримент назива се **Ерстедов експеримент**. Ерстедово откриће је повезало две до тада потпуно одвојене области физике – електрицитет и магнетизам. Савремена физика појаве електрицитета и магнетизма посматра заједно у области коју називамо електромагнетизам.

Појава магнетног поља није последица самог наелектрисања, већ његовог кретања. Када принесемо компас проводнику кроз који противе струја, игла компаса скреће. Ако бисмо компас принели наелектрисаном телу кроз које не противе струја, магнетна игла не би променила положај.

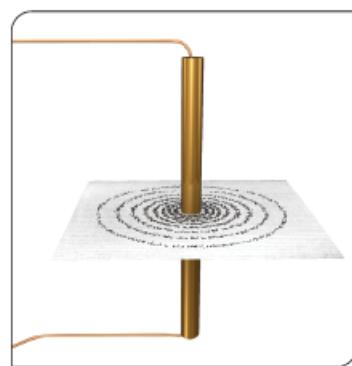
Да бисмо описали магнетно поље које ствара електрична струја, можемо извести следећи оглед.



## ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** папир, метални опиљци.

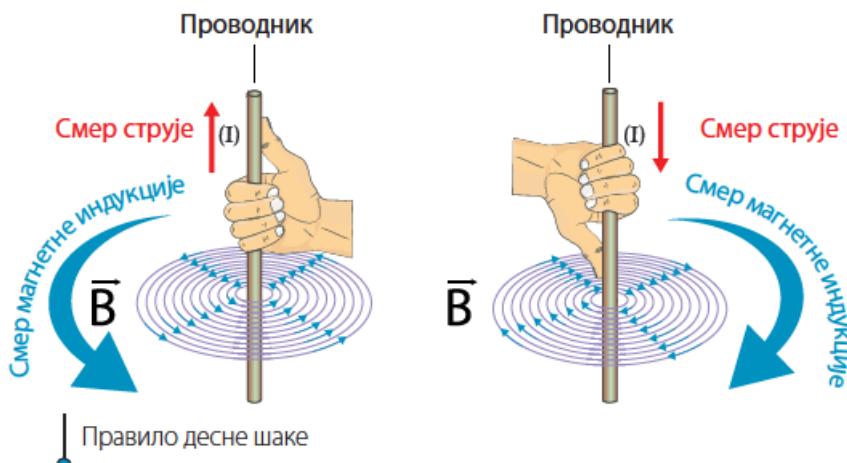
**ОПИС РАДА:** На хоризонтални папир нанесите гвоздене опиљке, а проводник поставите вертикално, тако да пролази кроз папир. Затим пустите струју кроз проводник. Гвоздени опиљци би тада требало да формирају облике налик на концентричне кругове.



Линије сила праволинијског проводника

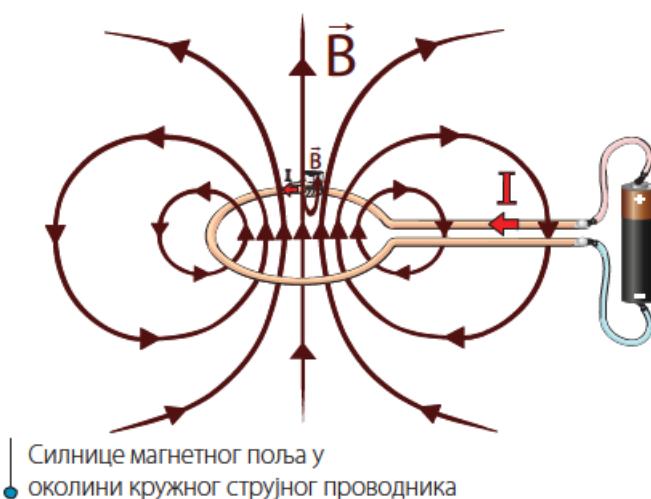
Линије силе магнетног поља у равни која је нормална на проводник обилазе око проводника, па тако линије силе са супротних страна проводника имају супротан смер. За одређивање правца и смера магнетног поља, односно вектора магнетне индукције у близини проводника, постоји једноставно правило које називамо правило десне шаке.

**Правило десне шаке:** Када десном руком обухватите проводник тако да палац показује смер струје ( $I$ ), прсти савијени око проводника показују смер вектора магнетне индукције ( $\vec{B}$ ).



## КРУЖНИ ПРОВОДНИК

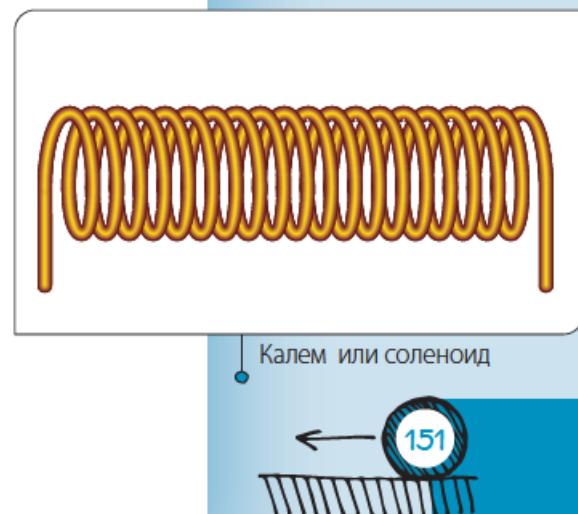
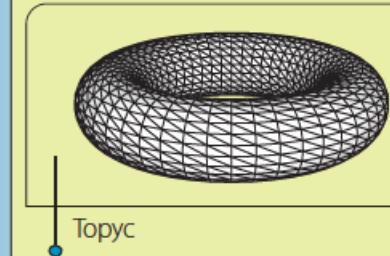
Ако уместо праволинијског проводника узмемо проводник у облику кружнице, онда ће облик магнетног поља бити другачији. Силнице тада неће изгледати као концентрични кругови око праве линије, већ ће силнице обилазити кружни проводник у равни нормалној на њега. Магнетно поље ће тада имати облик торуса.



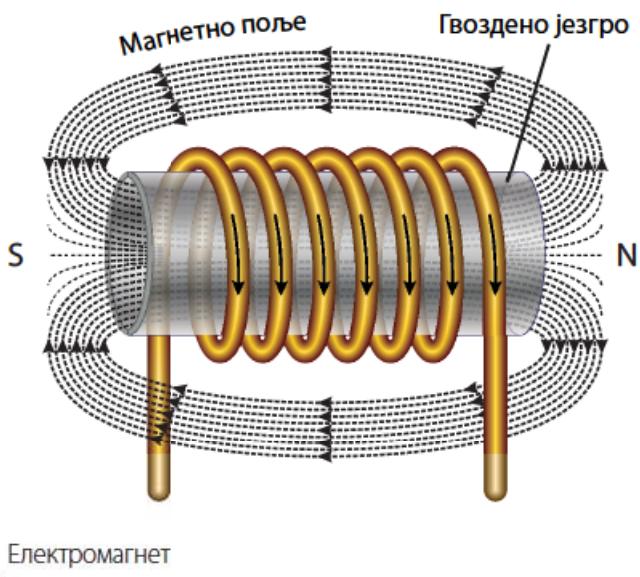
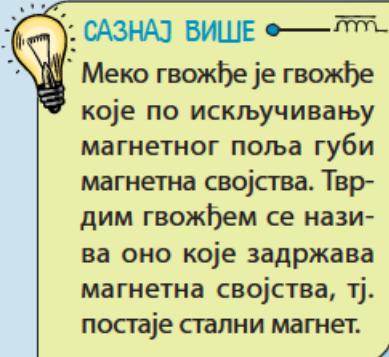
Ако уместо једног кружног проводника имамо више навоја истог проводника, добијамо **калем** или **соленоид**. Магнетно поље овако направљеног проводника је поље које добија као збир поља за сваки намотај, односно кружни проводник. Ипак, облик магнетног поља у окolini соленоида има једноставан облик који личи на поље сталног шипкастог магнета. Интензитет магнетног поља соленоида зависи од броја намотаја по јединици дужине и јачине електричне струје.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Торус је површ која бисмо добила када бисмо ротирали кружницу у простору око осе која је у равни тог круга, али не пресеца круг. Појас за спасавање или ђеврек имају приближно облик торуса.



Да би се магнетно поље соленоида појачало, у соленоид се ставља шипка од „меког“ гвожђа. Уређај који се састоји од соленоида и гвозденог језгра назива се **електромагнетом**. Електромагнет губи магнетна својства када струја престане да тече кроз проводник.



Слично као код сталног магнета, магнетно поље које ствара калем има два пола. Да бисмо одредили полове, потребно је да препознајмо смер електричне струје у калему и да онда применимо правило десне шаке.

Електромагнети имају широку примену и налазе се у готово свим електро-механичким уређајима, односно електричним уређајима са покретним деловима. Где год је потребно имати магнет који по потреби укључује и искључује, користе се електромагнети. Електромагнети су и неизоставни део свих електромотора.



#### ОГЛЕД

**МАТЕРИЈАЛ:** ексер, изолована жица, батерија.

**ОПИС РАДА:** Електромагнет можете да направите тако што гвоздени ексер обмотате изолованом жицом и њене крајеве повежете са батеријом. Проверите да ли ексер у овој ситуацији постаје магнет.



- На који начин можемо да променимо смер магнетног поља око проводника кроз који протиче струја?
- Описи како облик магнетног поља зависи од облика проводника кроз који тече струја.
- Шта је електромагнет?

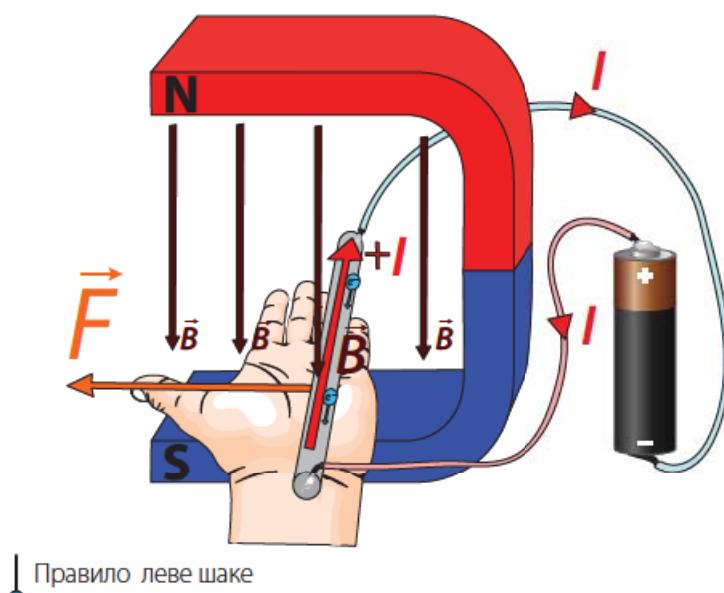
# ДЕЈСТВО МАГНЕТНОГ ПОЉА НА СТРУЈНИ ПРОВОДНИК

Ако кроз проводник који се налази у магнетном пољу неког сталног магнета пустите струју, на проводник ће деловати сила која ће настојати да га помери. Проводник кроз који протиче струја ствара своје магнетно поље које узајамно делује са пољем сталног магнета. То је као да се у близини једног сталног магнета појавио други. Између та два магнета се свакако јавља одређена сила. Сила која делује на проводник последица је узајамног деловања магнетног поља сталног магнета и магнетног поља око струјног проводника.

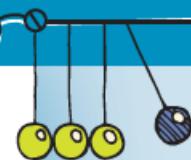
**Итензитет сile** којом магнетно поље делује на проводник зависи од индукције магнетног поља сталног магнета ( $B$ ), јачине електричне струје која протиче кроз проводник ( $I$ ) и дужине проводника који се налази у магнетном пољу сталног магнета ( $\ell$ ).

$$F = B \cdot I \cdot \ell$$

Правац сile која делује на проводник у магнетном пољу је нормалан на правац проводника и на правац магнетног поља. Правац и смер сile одређују се **правилом леве шаке**. Ако длан леве руке окренемо ка северном полу, при чиму прсти показују смер електричне струје у проводнику, онда палац показује смер сile која делује на проводник.



Правило леве шаке



- „правило леве шаке“
- електротехника

## ЗАДАТAK

Проводник дужине  $\ell = 50$  см постављен је нормално на линије магнетног поља индукције  $B = 0,2$  Т. Коликом ће силом деловати магнетно поље на проводник, ако кроз њега пролази струјајачине  $I = 0,5$  А?

### ПОЗНАТИ ПОДАЦИ

$$\ell = 50 \text{ cm}$$

$$B = 0,2 \text{ T}$$

$$I = 0,5 \text{ A}$$

$$F = ?$$

### РЕШЕЊЕ

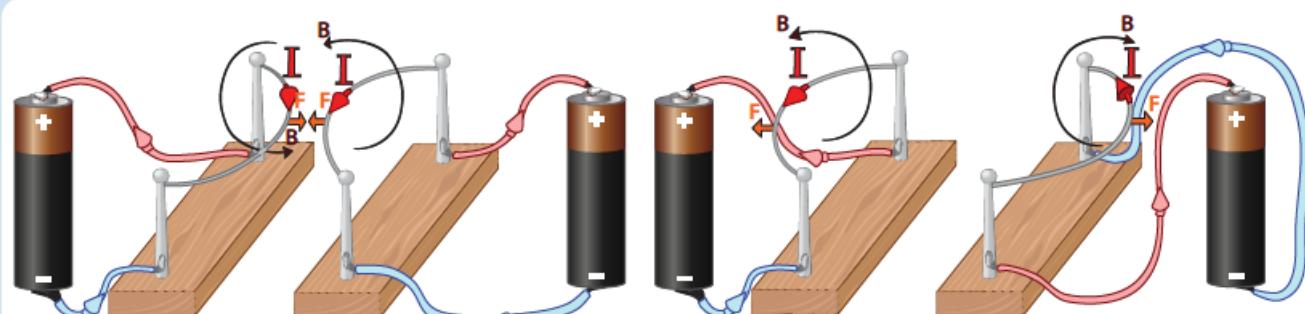
$$F = B \cdot I \cdot \ell$$

$$F = 0,2 \text{ T} \cdot 0,5 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ m}$$

$$F = 0,05 \text{ N}$$

Слично као што на проводник кроз који протиче струја делује стални магнет, на тај проводник делује и други проводник кроз који протиче струје. Ако кроз два близска проводника протиче струја, они ће деловати један на други, јер сваки од њих ствара магнетно поље.

Посматрајмо сад два паралелна проводника кроз које протиче струја. Магнетна поља ова два проводника ће интераговати и проводници ће се међусобно привлачити или одбијати. Да ли ће сила између два проводника бити привлачна или одбојна – зависи од смера струје у проводницима. Ако је смер струје у оба проводника исти, онда се проводници привлаче. Ако су смерови струје у паралелним проводницима супротни, онда се проводници одбијају.



Ако су струје истог смера, сила је привлачна.

Ако су струје супротног смера, сила је одбојна.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Мерна јединица за јачину електричне струје, ампер, дефинисана је коришћењем појаве да се између два паралелна проводника кроз које протиче струја јавља тачно одређена сила. Један ампер је, по дефиницији, стална електрична струја, која би, када би се одржавала у два права паралелна проводника, неограничене дужине и занемарљиво малог кружног пресека, који се налазе у вакууму на међусобном растојању од једног метра, проузроковала међу тим проводницима силу једнаку  $2 \cdot 10^{-7}$  ъутна по метру дужине.

## РАЗВОЈ ЕЛЕКТРОТЕХНИКЕ

Истраживање електричних и магнетних појава инспирисало је научнике инжењере широм света да открића из електромагнетизма примене за решавање практичних проблема. Тако је настала област **електротехника**, област технике која се у протекла два века најбрже развијала. Пре електротехнике, електрична струја није имала практичну примену. У међувремену су примене струје постале толико бројне, да је данас тешко наћи уређај који на неки начин не користи струју.

Друга половина 19. века је била златно доба у развоју електротехнике. Многа открића појава везаних за струје, електромагнете и њихове примене датирају из тог времена: сијалица, телефон, наизменична струја, електромотор, радио итд. Иако се заслуге за открића најчешће приписују једном проналазачу, пут до открића никада није тако једноставан. Иновације настају истовремено на много места, али нису све подједнако успешне. На крају користимо само најуспешније иновације и памтимо најуспешније проналазаче. Примера ради, званично се откриће сијалице приписује америчком проналазачу Томасу Едисону иако није он први направио сијалицу. Познато је најмање десет техничких решења пре Едисонове сијалице где се метална нит која се ужари под дејством струје користила за осветљење. Та решења, међутим, нису била довољно успешна да покрену индустријску производњу.

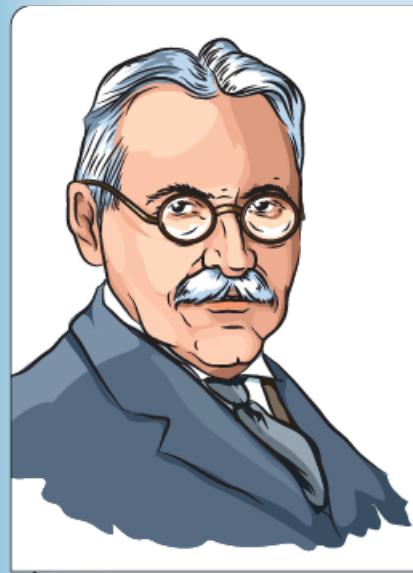
Два проналазача српског порекла су имала посебно велики утицај на развој електротехнике.

**Михајло Пупин** (1854–1935) је био физичар са посебним даром да научним открићима нађе практичну и комерцијалну примену. Рођен је у Идвору, месту у Банату, школовао се у Панчеву и Прагу, али је каријеру направио и Америци. Радио је у многим престижним лабораторијама тог времена, у Њујорку, Кембриџу и Берлину, а данас једна од њих носи његово име – *Пуپинова лабораторија за физику на Универзитету Колумбија у Њујорку*.

Михајло Пупин је имао више од тридесет врло успешних патентата који су му донели богатство и омогућили да постане велики добротвор.

Пупин је, између остalog, помагао својим сушародницима кроз бројне задужбине и стипендирање ученика. Михајло Пупин је, такође, био признат и као књижевник и дипломата. За своју аутобиографију *Од џашњака до научењака* добио је престижну Пулицерову награду. Имао је велике заслуге за успех преговора на Мировној конференцији у Паризу, после Првог светског рата, и на формирање Краљевине Срба, Хрвата и Словенаца.

Као најзначајније Пупиново откриће наводе се калемови који смањују шум на телефонским линијама, омогућавајући да њихов домет буде много већи. Овај проналазак је омогућио да телефон постане средство комуникације за било која растојања на планети. Ови калемови су, у његову част, названи **Пупинови калемови**.



Михајло Пупин



Михајло Пупин,  
*Од џашњака до научењака*

Никола Тесла (1856–1943) је један од највећих проналазача у историји. Рођен је у Смиљану, селу у данашњој Хрватској код Госпића. Школовао се у Госпићу, Карловцу, Грацу и Прагу, радио је у Паризу и Будимпешти, али је праву каријеру остварио тек по доласку у Америку где је основао своју лабораторију. Ту су настали његови најважнији проналасци: вишефазни систем наизменичних струја, асинхрони и синхрони мотор и Теслин трансформатор.

Наизменичне струје омогућиле су много ефикаснији пренос електричне енергије, па је тако електрична струја постала доступна сваком домаћинству. Употреба наизменичне струје је покренула индустрију електричних уређаја.

Никола Тесла је активно учествовао у изградњи прве хидроелектране на свету, на Нијагари. Поред тога, Тесла је конструисао електромотор, обртну динамо-машину, трансформатор високофреквентних струја и свећицу која служи за паљење горива у бензинским моторима. Никола Тесла је први објаснио како принцип усаглашених резонантних кола у предајној и пријемној антени може да буде начин за емитовање и пријем радио-таласа. Ово откриће је патентирао под насловом „бежични пренос података“ и можемо га сматрати проналазачем радија.

Мерна јединица за магнетну индукцију је, поводом стогодишњице Теслиновог рођења, добила назив **тесла**.

По Тесли је названа и данас највећа светска компанија за производњу електричних аутомобила.



- Који је правац силе којом магнетно поље делује на проводник кроз који протиче струја?
- Наброј електричне уређаје у кући. Да ли су постојали слични уређаји који нису користили електричну струју? Како су они функционисали?

Никола Тесла

Никола Тесла,  
Моји изуми



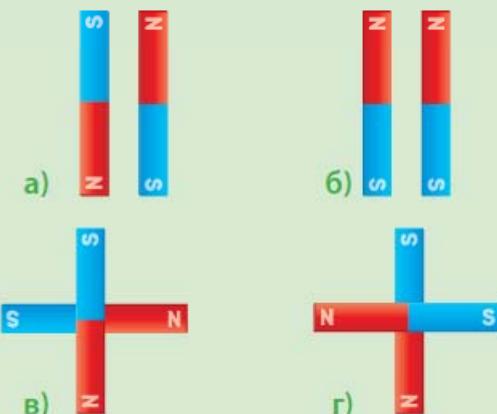
## САЖЕТАК

- **Магнетизам** је својство неких материјала да привлаче гвоздене предмете у својој околини.
- **Намагнетисавање** је процес током ког предмети добијају магнетна својства и постају магнети.
- **Стални магнети** дugo задржавају магнетна својства након што на њих делују други магнети.
- **Привремени магнети** задржавају магнетна својства само док на њих делују други магнети.
- **Магнетни дипол** је својство магнета да увек има два раздвојена пола, северни и јужни.
- **Магнетно поље** је својство простора које одређује како магнети делују на друге магнете у било којој тачки тог простора.
- **Линије сила магнетног поља (силнице)** су линије којима графички приказујемо магнетно поље.
- **Земљино магнетно поље** је магнетно поље које ствара планета Земља.
- **Магнетни полови Земље** су тачке на површини Земље кроз које линије сила магнетног поља Земље пролазе нормално на њену површ.
- **Ерстедов експеримент** доказује да електрична струја увек производи магнетно поље.
- **Правилом десне шаке** одређује се смер вектора магнетне индукције која се јавља у околини линијског проводника кроз који протиче електрична струја.
- **Калем (соленоид)** добијамо када проводну жицу намотамо око предмета облика ваљка.
- **Електромагнет** је калем намотан на ваљак од „меког“ гвожђа кроз који протиче електрична струја.
- На проводник дужине  $\ell$  у магнетном пољу индукције  $B$ , кроз који протиче струја јачине  $I$  нормално на правац магнетног поља, делује сила интензитета  $F = B \cdot I \cdot \ell$ .
- **Правилом леве шаке** одређујемо смер сile којом магнетно поље делује на проводник кроз који протиче електрична струја.
- **Електротехника** је научна област која истражује како открића из електромагнетизма учинити корисним за решавање практичних проблема.



## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Шта су магнети?
2. Колико полова има сваки магнет и како се они називају?
3. Како све могу узајамно да делују два магнета?
4. Која је мерна јединица за магнетну индукцију?
5. а) Нацртај линије сила магнетног поља шипкастог магнета.  
б) Нацртај линије сила магнетног поља планете Земље
6. Како ради компас?
7. Нацртај линије сила магнетног поља правог проводника кроз који протиче струја?
8. Како изгледа магнетно поље густо намотаног калема?
9. Шта је електромагнет?
10. Да ли на проводник кроз који протиче електрична струја и који се налази у магнетном пољу делује нека сила?
11. Од чега зависи смер силе којом узајамно делују два паралелна проводника кроз које протиче струја?
12. У ком се од приказаних положаја два магнета највише привлаче?



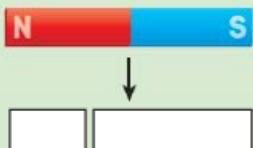
13. У којој је од четири тачке приказане на слици магнетно поље најјаче?

• 2

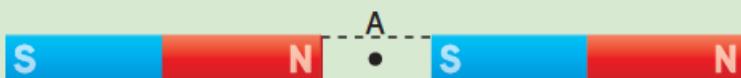
• 1            • 3

• 4

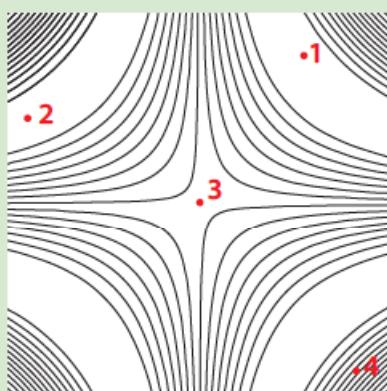
14. Како су намагнетисане шипке које су добијене када је шипкаст магнет пре-сечен на два дела по дужини? На цртеж две добијене шипке упишите одговарајуће ознаке магнетних полова.



15. Два шипкаста магнета постављена су један наспрам другог тако да су им супротни полови окренути један према другом, као на слици. Како је оријентисано магнетно поље у тачки A, која се налази тачно на средини између два магнета?



16. На слици су приказане магнетне линије силе у одређеном простору. У којој је од означених тачака магнетно поље најјаче?



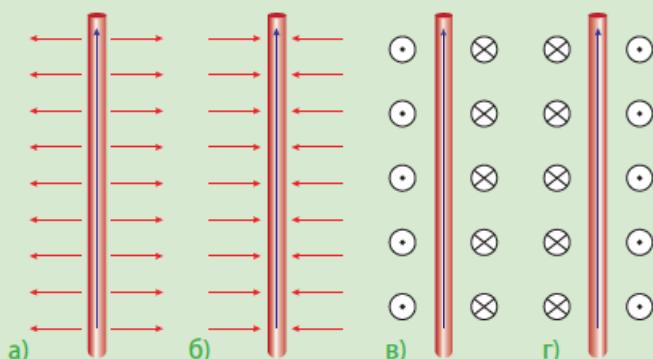
17. У ком случају наелектрисане честице стварају магнетно поље?

- a) Само у вакууму.
- б) Само када се крећу.
- в) Само када су у металу.
- г) Само кад су разноимено наелектрисане.

18. Због чега игла компаса скреће у близини изоловане жице кроз коју протиче струја?

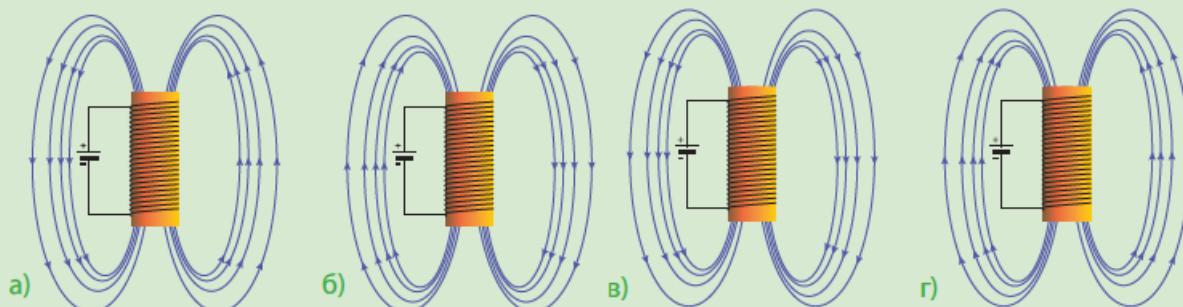
- а) Жица намагнетише иглу компаса и ствара силу.
- б) Игла компаса намагнетише жицу и ствара силу.
- в) Струја ствара магнетно поље око жице и делује на иглу.
- г) Изолација скреће магнетно поље жице и делује на иглу.

19. На ком је дијаграму најбоље приказан смер магнетног поља око жице кроз коју струја тече као што је приказано?





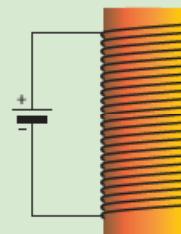
20. На којој је слици магнетно поље у околини соленоида исправно приказано?



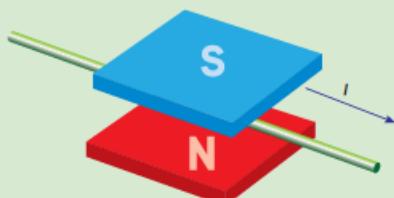
21. На слици је приказан једноставан електромагнет.

Шта ће од наведеног учинити да тај електромагнет буде јачи?

- а) Коришћење дуже жице између батерије и језгра.
- б) Коришћење тање жице за намотавање око језгра.
- в) Гушће намотавање жице око језгра.



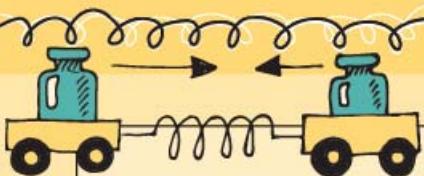
22. Проводник кроз који тече струја јачине  $I$  налази се у магнетном пољу, као што је приказано на слици. У ком ће смеру магнетна сила деловати на проводник (доцртайте на слици)?



- а) У смеру магнетног поља.
- б) Супротно од смера магнетног поља.
- в) Налево, гледајући у смеру протицања електричне струје, нормално на правац магнетног поља.
- г) Надесно, гледајући у смеру протицања електричне струје, нормално на правац магнетног поља.

23. Како делују једна на другу две паралелне жице кроз које струја протиче у истом смеру?

- а) Привлаче се.
- б) Одбијају се.
- в) Обрћу се у истом смеру.
- г) Обрћу се у супротним смеровима.



## ПРОЈЕКАТ – МАГНЕТНО ПОЉЕ

**ЦИЉ ПРОЈЕКТА:** Одређивање смера магнетног поља струјног проводника. Зависност јачине магнетног поља од јачине струје.

**БРОЈ ЂАКА У ТИМУ:** четири-пет

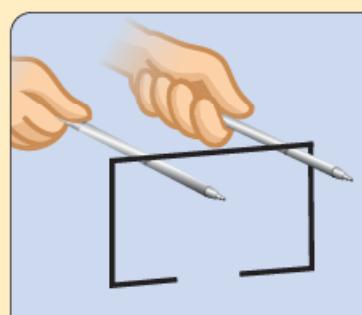
**Материјал за рад:** компас или апликација за паметни телефон која симулира компас, две батерије, жица (по могућству бакарна) дужине од око 1 м, две пластичне шипке (на пример оловке) и два парчета лепљиве траке дужине по десетак центиметара.

**ТОК ПРОЈЕКТА:** Припрема за извођење огледа, опажање, доношење закључака о појави.

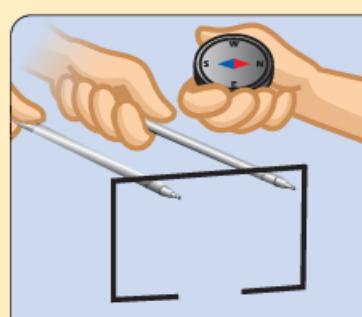
- Ако немате компас или одговарајућу апликацију на телефону, преузмите апликацију са продавнице. Изнад стола на којем ћете изводити оглед, одредите стране света компасом. Прво залепите један комад лепљиве траке на сто у правцу југ–север, и означите на траци југ и север. Потом пажљиво, под правим углом, залепите други комад траке и означите на њему источну и западну страну света.



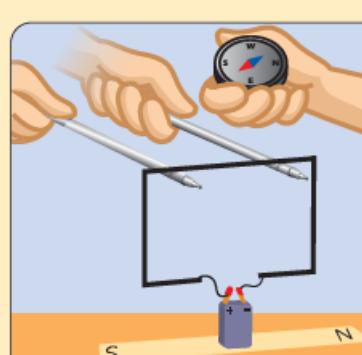
- Савите жицу у облику правоугаоника. Дужа страница треба да буде дугачка око 30 см, а краћа око 20 см. Нека један члан тима пластичним шипкама придржава рам у вертикалној равни. Правац дуже странице мора бити у правцу југ–север (слика).

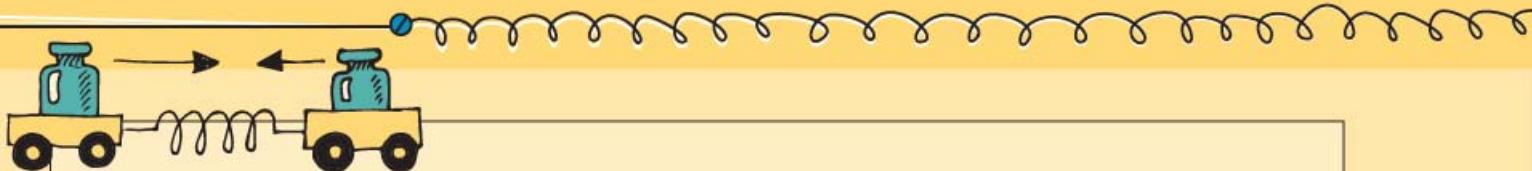


- Други члан тима нека држи компас неколико центиметара изнад горње стране правоугаоника.



- Преостала два члана нека споје батерију са слободним крајевима рама. Позитиван пол батерије треба спојити са крајем рама који је на јужној страни. Негативан пол батерије треба спојити са оним крајем рама који је на северној страни (слика). Спајање рама и батерије можете извршити тако што ћете клештима са пластичним навлакама на ручкама држати притиснуту жицу за батерију. Ако немате клешта, можете то урадити пинцетом или прстима. Тада би било добро да носите пластичне или гумене рукавице.





ПИТАЊА:

1. Шта се десило са казаљком компаса када сте рам повезали за полове батерије?

---

2. Ка којој страни света се померила казаљка? \_\_\_\_\_

3. За колики угао се приближно померила казаљка компаса? \_\_\_\_\_

4. Ако приближите компас раму, шта се дешава са углом скретања казаљке?

---

5. Како се мења угао скретања казаљке ако удаљавате компас од рама? \_\_\_\_\_

6. Поставите сада компас испод горње странице рама. Растојање од рама до компаса треба да буде приближно исто као на почетку огледа. Ка којој страни света се померила казаљка компаса? \_\_\_\_\_

7. Какав је међусобни однос смерова јачине магнетног поља изнад и испод горње жице рама? \_\_\_\_\_

8. Сада узмите и другу батерију и вежите је редно са првом. Како се променила јачина струје у раму? \_\_\_\_\_

9. Поставите компас у приближно исти положај као на почетку огледа. Да ли се и како променио угао скретања казаљке компаса? \_\_\_\_\_

10. Уметнути речи расте или опада у следеће реченице:

Јачина магнетног поља \_\_\_\_\_ са повећањем растојања од проводника.

Јачина магнетног поља \_\_\_\_\_ са повећањем јачине струје у струјном проводнику.

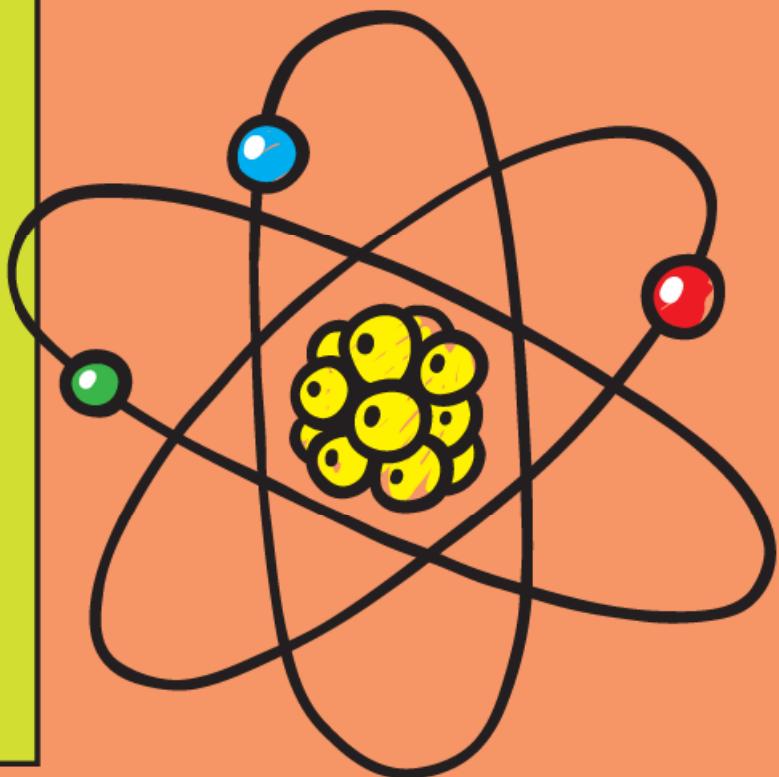


# ЕЛЕМЕНТИ АТОМСКЕ И НУКЛЕАРНЕ ФИЗИКЕ

Идеја о томе да постоје најситнији, не-дельиви делићи супстанције, постоји више од две хиљаде година. Старогрчки филозоф Демокрит назвао је такве делиће „атомима“. Средином 19. века постало је јасно да и атоми имају своју структуру. Тада су изведени први експерименти, како би се открило нешто више о унутрашњости атома.

Енглески научник Џозеф Томсон је, на самом крају 19. века, експериментално показао да се атоми сastoјe из делова који су позитивно и негативно наелектрисани. Убрзо потом, Ернест Радерфорд је, са својим сарадницима, показао да постоје атомска језгра, а након тога су откривене још ситније честице које чине та језгра.

Паралелно са истраживањем структуре атома текло је истраживање радиоактивности. Управо су честице које настају у радиоактивним распадима коришћене за испитивање структуре атома.



# СТРУКТУРА АТОМА

- atomsko језгро
- електронски омотач
- протон
- неутрон
- јон
- јонизација
- нуклеон
- јака нуклеарна сила



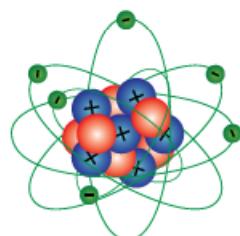
## САЗНАЈ ВИШЕ

**Марија Склодовска Кири** (Варшава, 1867 – Саланш, 1934), по мишљењу многих, дала је највећи допринос истраживању области радиоактивности. Рођена је у Польској, а студирала у Варшави и Паризу. Била је прва жена која је предавала на Универзитету у Паризу и прва жена која је добила Нобелову награду (за истраживања радиоактивних појава, награда за физику, 1903). Касније јој је додељена још једна Нобелова награда – за откриће хемијских елемената радијума и полонијума (награда за хемију, 1911). Посебно је вредна њена одлука да не патентира процес издвајања радијума како би подстакла истраживања у тој области. Марија Кири је умрла 1934, вероватно од леукемије, што је могла бити последица велике изложености радиоактивном материјалу током истраживања.



• Марија Склодовска Кири

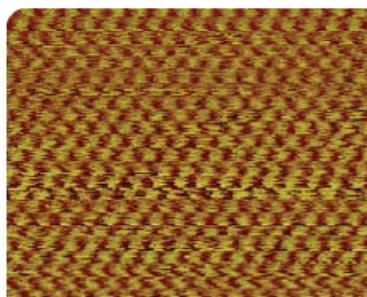
Димензије атома су реда величине  $10^{-10}$  м, што је приближно милион пута мање од димензија зрнца фине прашине. Не постоји микроскоп помоћу којег бисмо заиста могли да видимо атоме, али постоје микроскопи који слику стварају на основу мерења јачине електричног поља у близини атома. Они могу да нам прикажу обрисе атома. **Атоми** се састоје од **атомског језгра** и **електронског омотача**. Сваки атом има тачно одређен број електрона, који се непрестано крећу око позитивно наелектрисаног језгра. Електрони чине електронски омотач, који је увек негативно наелектрисан. Кретање електрона око језгра подсећа на кретање планета око Сунца. Постоји једна велика разлика. Електрони се око језгра крећу невероватно великим брзинама. Због тако велике брзине кретања, као да ти неухватљиви електрони стварају облак око језгра. Негде, приближно у центру тог облака, налази се слабо покретно, позитивно наелектрисано језгро. Кретање електрона око језгра не може да се опише класичном физиком. Због тога је било потребно смислiti нову теорију, квантну механику, која може да опише појаве на овако малим скалама. На сликама које дају скенирајући тунелски микроскопи (СТМ), виде се управо облаци електрона.



- електрон -
- протон +
- неутрон 0

6 електрона, 6 протона, 6 неутрона

Атом угљеника



СТМ слика слоја графита  
(атоми угљеника)

Језгро је централни део атома. У језгру су концентрисани целокупно позитивно наелектрисање атома и готово целокупна маса атома.



## САЗНАЈ ВИШЕ

**Атомско језгро** је неколико десетина хиљада пута мање од димензија атома. На пример, када бисмо атом водоника приказали у размери у којој је језгро представљено као кликер пречника једног центиметра, електрон би био као зрнце прашине које око кликера обилази на растојању од 800 метара!

Ако просечан атом има неколико електрона, онда запремину атома главном чини празан простор. Ипак, електрони се тако брзо крећу, да стварају слику облака око језгра.



## САСТАВ АТОМСКОГ ЈЕЗГРА

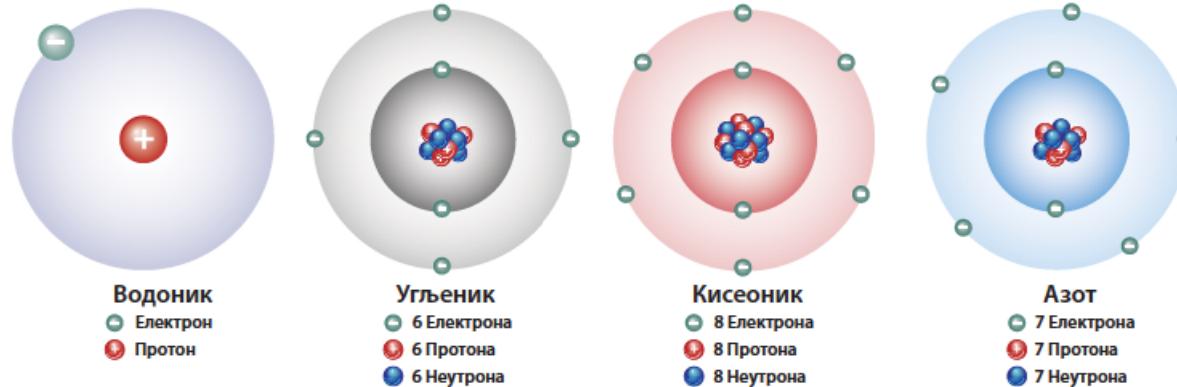
Почетком 20. века, енглески физичар Ернест Радерфорд показао је својим експериментима колике су димензије и маса атомског језгра. Следећи циљ физике тог времена био је да установи од чега се атомско језгро састоји. Прва откринута честица у саставу атомског језгра био је **протон**; откријен је 1919. године. Одмах је откријено и да је протон позитивно наелектрисана честица много веће масе од електрона. Сви протони у језгру чине половину, или чак мање од половине масе језгра. Било је јасно да нешто недостаје. Откривање **неутрона**, честице која чини другу половину масе атомског језгра, било је много теже због тога што он није наелектрисан. Постојање неутрона експериментално је утврђено тек тринаест година после открића протона. Наелектрисање протона једнако је, по апсолутној вредности, наелектрисању електрона, али је супротног знака.

Наелектрисање електрона означавамо са  $-e$ , а наелектрисање протона са  $+e$ . Пошто је атом електронеутралан, наелектрисање свих протона мора, по апсолутној вредности, да буде једнако укупном наелектрисању свих електрона. Због тога, број протона у сваком атому мора бити једнак броју електрона.

ЕЛЕМЕНТ	БРОЈ ЕЛЕКТРОНА	БРОЈ ПРОТОНА	БРОЈ НЕУТРОНА
водоник	1	1	0
хелијум	2	2	2
угљеник	6	6	6
азот	7	7	7
кисеоник	8	8	8
гвожђе	26	26	30

### САЗНАЈ ВИШЕ

Молекули настају тако што више атома удржавају своје електроне. Стога, молекул можемо да замислимо као облак електрона с више атомских језгара.



Структура атома водоника, угљеника, кисеоника и азота

Различити атоми имају различит број електрона, протона и неутрона. Као што сте учили из хемије, управо број електрона у неком атому одређује својства тог атoma. У природи постоје атоми који имају од 1 до 92 протона. У лабораторијама су произведени и атоми с већим бројем протона. Листа атома представљена је Периодним системом елемената, о којем сте учили из хемије.

Протони и неутрони чине атомско језгро (нуклеус) и имају заједнички назив **нуклеони**.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Протони и неутрони имају приближно једнаке масе:  $m_p \approx m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Маса електрона је око 1 840 пута мања од масе протона или неутрона:  $m_e \approx 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .



Постоје атоми који лако губе понеки електрон у одређеним процесима. Такав атом постаје позитивно наелектрисан, пошто има мањак електрона. Процес одвајања електрона из електро-неутралног атома назива се **јонизација**. Откинути електрони, ван атома, називају се слободним електронима. Остатак атома се назива позитивно наелектрисаним **јоном**. Друга група атома може релативно лако да захвата неки слободни електрон, и тако добије вишак електрона. Овакви атоми постају негативно наелектрисани јони. Процеси у којима атоми губе или добијају електроне кључни су за неке хемијске реакције.

## НУКЛЕАРНЕ СИЛЕ

Нуклеони чине атомско језгро. Језгро је врло стабилно, тешко се распада. С друге стране, нуклеони су или позитивне или неутралне честице. Позитивне честице међусобно се одбијају. То значи, да би нуклеони у језгру били чврсто везани, мора да постоји нека сила која их привлачи, независно од њиховог наелектрисања, односно, сила која ће надјачати електростатичко одбијање протона. Та сила назива се **јаком нуклеарном силом**. Она делује на веома малим растојањима (реда величине  $10^{-14}\text{ m}$ ), и она је најјача позната сила у природи.

Одлике јаке нуклеарне сile:

- има врло кратак домет (делује само у атомском језгру);
- не зависи од наелектрисања нуклеона;
- јача је од електростатичких сила на малим растојањима;
- нуклеони интерагују само са нуклеонима из истог језгра.



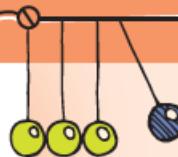
Замислите да имате некакве супер-маказе којима неку супстанцу можете да сецкate до најситнијих делова. Затим замислите да златну жицу сецкate, управо таквим маказама, на све ситније и ситније делове. Докле можете да сецкate – а да то што сте исекли и даље можемо звати златом?

- (a) парченце које и даље можемо да ухватимо пинцетом;
- (б) парченце које можемо да видимо под микроскопом;
- (в) парченце у коме има само један атом злата;
- (г) атом коме смо маказама „ошишали“ електроне, до делића величине протона злата.

- Да ли два атома која су врло близу један другом могу да интерагују нуклеарном јаком силом?
- Каква треба да буду два јона, да би се међусобно привлачила?



# ИЗОТОПИ И РАДИОАКТИВНИ РАСПАД



- атомски број
- масени број
- изотоп
- радиоактивни распад

## ИЗОТОПИ

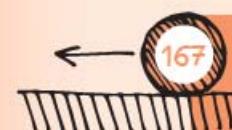
Број протона у језгру представља редни број атома у Перидном систему елемената. Тада назива се и **атомски број**, а обележава се словом Z. Укупан број протона и неутрона у језгру чини **масени број**. Масени број обележава се словом A.

Ознака за атом, на пример X, с конкретним атомским и масеним бројем је  ${}^A_ZX$ . Пошто се број протона за одређени елемент подразумева, често се ознака атомског броја и не пише. То значи да је  ${}^A_X$  исто што и  ${}^Z_X$ . На пример, редни број угљеника је 6, па је довољно написати  ${}^{12}C$ . Други уобичајени начин означавања јесте X-A или назив елеменша –A, угљеник –12. У табели су дати примери исправно обележених атома.

ЕЛЕМЕНТ	АТОМСКИ БРОЈ (Z)	МАСЕНИ БРОЈ (A)	ОЗНАКА	НАЗИВ
водоник	1	1	${}_1^1H$	водоник-1
хелијум	2	4	${}_2^4He$	хелијум-4
угљеник	6	12	${}_6^{12}C$	угљеник-12
азот	7	14	${}_7^{14}N$	азот-14
кисеоник	8	16	${}_8^{16}O$	кисеоник-16
гвожђе	26	56	${}_{26}^{56}Fe$	гвожђе-56

Табела 6.2. Атомски, масени бројеви и ознаке за неколико атома

Неки елементи могу да имају различит број неутрона у језгру. Варијанте једног елемента с различитим масеним бројевима јесу **изотопи** тог елемента. Велики број елемената има своје изотопе. Познати су изотопи водоника: **деутеријум** ( ${}^2H$ ), који има један протон и један неутрон, и **трицијум** ( ${}^3H$ ), који има један протон и два неутрона.



ЕЛЕМЕНТ	АТОМСКИ БРОЈ (Z)	МАСЕНИ БРОЈ (A)	ОЗНАКА	НАЗИВ
водоник	1	1	${}_1^1\text{H}$	водоник-1
(деутеријум)	1	2	${}_1^2\text{H}$	водоник-2
(трицијум)	1	3	${}_1^3\text{H}$	водоник-3
угљеник	6	12	${}_6^{12}\text{C}$	угљеник-12
	6	13	${}_6^{13}\text{C}$	угљеник-13
	6	14	${}_6^{14}\text{C}$	угљеник-14
кисеоник	8	16	${}_8^{16}\text{O}$	кисеоник-16
	8	17	${}_8^{17}\text{O}$	кисеоник-17
	8	18	${}_8^{18}\text{O}$	кисеоник-18

Табела 6.3. Изотопи неких атома

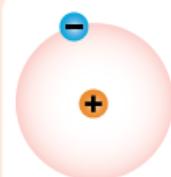


#### САЗНАЈ ВИШЕ

Језгро уранијума,  ${}_{92}^{235}\text{U}$ , које се користи у нуклеарним реакторима, има 143 неутрона и 92 протона. Његови изотопи су:  ${}_{92}^{233}\text{U}$ ,  ${}_{92}^{235}\text{U}$ ,  ${}_{92}^{238}\text{U}$  и  ${}_{92}^{239}\text{U}$ .

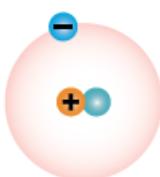
Изотопи неког елемента имају исти атомски (редни) број, пошто имају исти број протона, а разликују се по масеном броју.

Атоми с великим бројем протона могу имати неколико изотопа, зависно од тога колико неутрона имају у језгру. Основна разлика између изотопа јесте разлика у стабилности њихових атомских језгара. Већина атома који чине наш свет стабилна је, што значи да се они не мењају с временом.



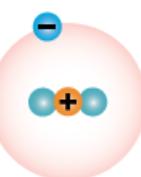
Водоник

$\bullet 1e^-$   
 $\bullet 1p^+$   
 $\circ 0n^0$   
 $= 1 + 0 = 1$



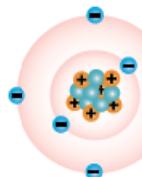
Деутеријум

$\bullet 1e^-$   
 $\bullet 1p^+$   
 $\circ 1n^0$   
 $= 1 + 1 = 2$



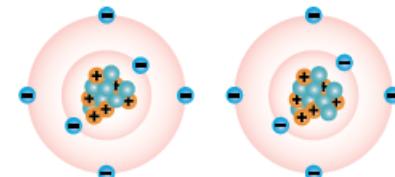
Трицијум

$\bullet 1e^-$   
 $\bullet 1p^+$   
 $\circ 2n^0$   
 $= 1 + 2 = 3$



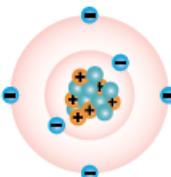
Угљеник

$\bullet 6e^-$   
 $\bullet 6p^+$   
 $\circ 6n^0$   
Атомски број  
 $= 6 + 6 = 12$



Угљеник13 ( ${}^{13}\text{C}$ )

$\bullet 6e^-$   
 $\bullet 6p^+$   
 $\circ 7n^0$   
Атомски број  
 $= 6 + 7 = 13$



Угљеник14 ( ${}^{14}\text{C}$ )

$\bullet 6e^-$   
 $\bullet 6p^+$   
 $\circ 8n^0$   
Атомски број  
 $= 6 + 8 = 14$

Изотопи водоника

Изотопи угљеника



#### САЗНАЈ ВИШЕ

Вероватноћа је мера очекивања да ће се неки догађај десити. Вероватноћа се изражава бројем између 0 и 1, укључујући и ова два броја. Ако бацијете новчић, вероватноћа да ћете, на пример, добити писмо, јесте 1/2 (0,5 или 50%).



## РАДИОАКТИВНИ РАСПАД

Неки атоми, то јест њихова језгра, мање су стабилни, распадају се и због тога зраче. Да ли ће атомско језгро бити стабилно или не, зависи од броја протона и неутрона у језгру. Додавање само једног неутрона стабилном језгру, може променити ситуацију и учинити језгро нестабилним.

Нестабилна језгра распадају се у процесу који се назива **радиоактивним распадом**. Приликом радиоактивног распада, увек се ослобађа енергија.

Радиоактивни распад одвија се унутар атомског језгра. Језгро које није потпуно стабилно, у неком тренутку ослобађа се вишак енергије. При таквом ослобађању може да дође до промене атомског (редног) или масеног броја атома. Често се мењају и оба броја. Другим речима, после радиоактивног распада настаће различит елемент од онога који се распао. Распад је спонтан процес и не може се предвидети када ће се дрогодити. Може се говорити само о вероватноћи да се неко нестабилно језгро распадне. Вероватноћа распада не мења се с временом, како време пролази, вероватноћа распада се не повећава, она остаје иста. То је помало необично својство атомских језгара, јер је у супротности са свакодневним искуством које говори да се ствари с временом мењају. Већина ствари стари, умире, квари се или иструли с временом. Тога, међутим, на нивоу атомских језгара, нема. Многи атоми који данас постоје у стварима око нас опстају непромењени милијардама година, и наставиће још дugo да постоје. Атомска језгра хелијума, на пример, која постоје на Сунцу милијардама година, и језгра која су данас настала нуклеарном фузијом, ни по чему се не разликују. Атомска језгра не старе.

#### САЗНАЈ ВИШЕ

**Зрачење различитих изотопа** разликује се по врсти зрачења и броју распада у јединици времена (вероватноћи распада). На основу мерења зрачења које долази из изотопа у неком телу могуће је установити где се изотоп тачно налази и колико га има. Због тога изотопе користимо за:

- медицинске сврхе: дијагностику и лечење;
- праћење тока течности у људском телу, помоћу маркера;
- одређивање старости археолошких налаза;
- праћење тока раствореног ђубрива у земљишту.

Осим тога, зрачење изотопа може бити и извор енергије или начин уништавања микроорганизама. Због тога се изотопи још користе:

- као извор енергије за свемирске летелице;
- за стерилизацију хране, лекова или пластичне амбалаже.

Старост египатских мумија, на пример, одређује се мерењем зрачења које потиче од угљениковог изотопа  $^{14}\text{C}$ .



- Шта је заједничко свим изотопима истог хемијског елемента: масени број, број електрона, број неутрона, или број протона?
- Замислите следећу невероватну ствар. У неком великом сударачу сударе се два атома кисеоника. При том судару један атом изгуби два електрона, а други их веже за себе. Који од ова два атома кисеоника је извршио радиоактивни распад: онај који је изгубио електроне, онај који је захватио електроне, оба или ниједан?
- Замислите неколико изотопа истог елемента, ако је један нестабилан и може да се распадне, да ли то важи за све остale изотопе истог елемента?

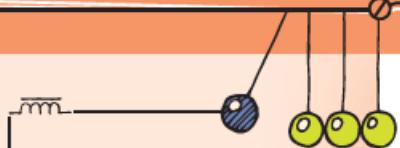
#### САЗНАЈ ВИШЕ

Пре четири и по милијарде година планета Земља била је врела грудва сачињена од различитих течности и гасова. Та грудва се хладила временом и добила је чврсту кору, на којој данас стојимо. Разлог због којег се Земља, ни после толико времена није сасвим охладила, јесте постојање радиоактивних елемената у њеној кори.

#### САЗНАЈ ВИШЕ

**Радиоактивни распад** може да се искористи као извор енергије. При распаду језгро се ослобађа вишак енергије. Та енергија може да се искористи за производњу електричне струје, на пример. С друге стране, ако језгро ослобађа велику количину енергије при распаду, а вероватноћа за распад је мала, онда се такав елемент може користити као веома дуготрајна „батерија”, погодна за коришћење у условима у којима не можемо да је мењамо (на пример, на сателитима или другим свемирским сондама).



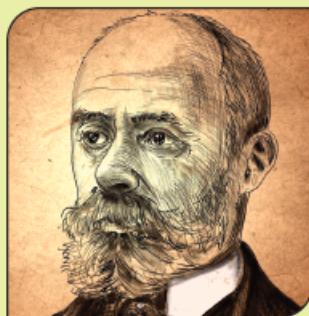


- радиоактивност
- радиоактивно зрачење
- алфа зраци
- бета зраци
- гама зраци
- време (период) полураспада
- јонизујуће зрачење



#### САЗНАЈ ВИШЕ

Радиоактивност је појава коју је 1896. године открио француски физичар **Анри Бекерел** (Париз, 1852 – Ле Кроазик, 1908). Он је приметио да уранијумове соли делују на фотографску плочу на исти начин као сунчева светлост, чак и када је плоча умотана у дебео црн папир. То је значило да уранијум зрачи неким невидљивим зрацима који пролазе кроз хартију и реагују с фотографском плочом.



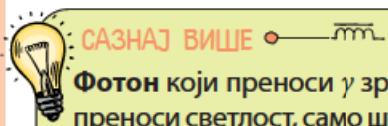
Анри Бекерел

# РАДИОАКТИВНО ЗРАЧЕЊЕ И ЖИВИ СВЕТ

Нестабилно атомско језгро спонтано може да промени свој састав тако што испусти честице високе енергије, и та појава назива се **радиоактивност**. Честице које испушта атомско језгро традиционално називамо зрацима, а (из тог разлога) појаву емитовања зрака називамо **радиоактивним зрачењем**.

Постоје три основне врсте радиоактивног зрачења:  **$\alpha$  (алфа)**,  **$\beta$  (бета)** и  **$\gamma$  (гама)**. Код **алфа зрака** језгро избацује алфа честице. То је честица сачињена од два протона и два неутрона, што је заправо исто као и језгро хелијума. При **бета зрачењу**, атомско језгро емитује електрон и позитрон (позитрон је честица по свему идентична електрону осим што је супротно, дакле, позитивно наелектрисана), а при **гама зрачењу** језгро испушта честицу светlostи (фотон) веома велике енергије. Језгро се најчешће распада тако што емитује алфа или бета зраке, а гама зраци обично прате те распаде.

Језгро хелијума не постоји као издвојено у неком већем језгру. Приликом алфа распада, два протона и два неутрона везани једни за друге удружују се и заједно напуштају језгро. Код бета распада у једном тренутку се, на пример, неутрон распада на протон и електрон, протон остаје у језгру, а електрон га напушта. Новонастало језгро није у минимуму енергије, и због тога емитије фотоне високе енергије ( $\gamma$  зраке) и тако се ослобађа вишкa енергије.



#### САЗНАЈ ВИШЕ

**Фотон** који преноси  $\gamma$  зраке је честица исте врсте као и фотон који преноси светлост, само што му је енергија чак и до милион пута већа.

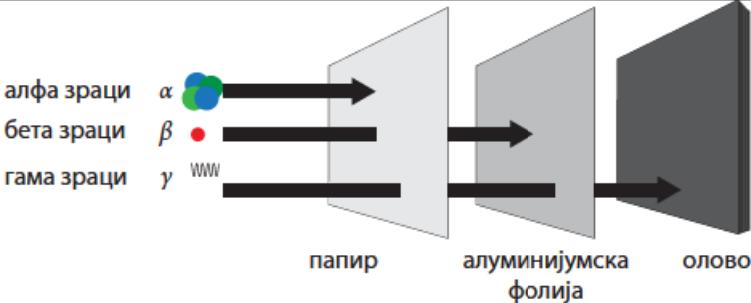
У табели 6.4. дати су подаци о алфа, бета и гама зрацима. Примите да су гама зраци најпродорнији. Њих је најтеже зауставити.

## ЗРАЦИ

ЧЕСТИЦЕ	ЈЕЗГРО ХЕЛИЈУМА	ЕЛЕКТРОН	ФОТОН
Маса (у односу на масу протона)	4	$\frac{1}{1840}$	0
Наелектрисање (у односу на наелектрисање протона)	+2	-1	0
Оно што зауставља зраке	папир дебљине 0,1 mm	алуминијумска плоча дебљине неколико милиметара	оловна плоча дебљине око пола метра

Табела 6.4. Карактеристике радиоактивних зрака





Дубина продирања радиоактивних зрака

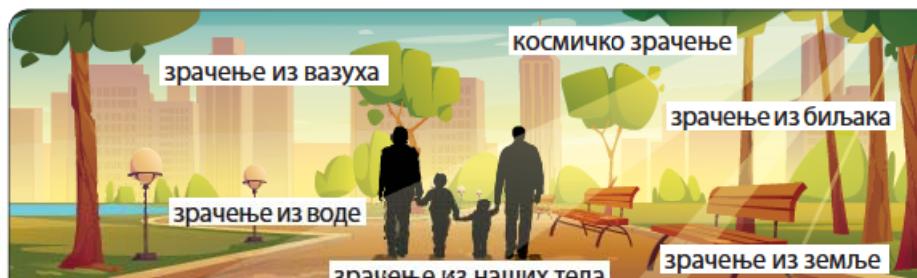
Да би се описала брзина, а самим тим и вероватноћа, којом се атомска језгра распадају, уведена је величина која се назива временом (периодом) полураспада. **Време (период) полураспада** неког радиоактивног елемента јесте време за које се распадне половина почетног броја језгара. На пример, време полураспада кобалта износи пет година. Ако на почетку постоји 1.000 атома кобалта, половина њих распашиће се за пет година и остаће их 500. Ако сачекамо још пет година, распашиће се половина од преосталих 500, и биће их само 250.

## ПРИРОДНА РАДИОАКТИВНОСТ

Природна радиоактивност јесте својство нестабилних атомских језгара, која се због нестабилности распадају и зраче. Сва језгра с редним бројем већим од  $Z = 82$  нестабилна су, и постепено се распадају стварајући стабилнија језгра. Радиоактивност постоји на Земљи од када на њој постоје овако велика атомска језгра. То је много пре него што се на њој појавио живот. Она постоји у свемиру и пре него што је настала Земља.

Најзначајнији природни извори зрачења на Земљи су радиоактивни изотопи уранијума (235 и 238), торијума 232, радијума 226, радона 222 и калијума 40. Поред њих, радиоактивни изотоп угљеника (14) користи се за одређивање старости органских остатака.

Значајна врста зрачења која је присутна на Земљи јесте тзв. космичко зрачење, које настаје негде далеко од наше планете. Други значајан извор јесу радиоактивни елементи у атмосфери и Земљиној кори. Постоје чак и извори зрачења, као што је калијум-40, који се налази у саставу нашег тела. У сваком случају, ми смо стално изложени радиоактивном зрачењу, и оно представља сталну опасност по живе организме. Постојање нуклеарних електрана и извођење нуклеарних експеримената врло мало доприноси укупној количини зрачења коју примамо.



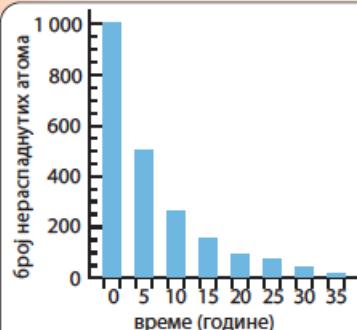
Извори зрачења

### САЗНАЈ ВИШЕ

Ако зnamо период полу-распада неког елемента, ми и даље не зnamо који атоми ћe сe распasti, а који не. Само зnamо да ћe сe половина свих атома распasti у току времена полураспада.

ЕЛЕМЕНТ	ВРЕМЕ ПОЛУРАСПАДА
уранијум	4,5 милијарди година
радијум	1.590 година
кобалт	пет година
радон	четири дана

Табела 6.5: Време полураспада неких радиоактивних елемената



### САЗНАЈ ВИШЕ

Једна од највећих тешкоћа за лет на Марс са људском посадом јесте у томе како од космичког зрачења заштитити посаду и електронику на броду. Дебео штит (на пример, оловни) око брода драстично би повећао масу брода, што би драстично повећао количину потребног горива за полетање, али и драстично смањило масу свега осталог што треба понети на пут.





У шестом и седмом разреду сте учили из школског предмета Биологија да је молекул ДНК (дезоксирибонуклеинске киселине) од суштинског значаја за скоро све врсте животног света.



Симбол за радиоактивност

## ОПАСНОСТИ ОД РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА

Када у неком процесу атоми остану без неких електрона, или покупе неки слободни електрон, они више нису електронеутрални и постају наелектрисани јони. Овакви процеси називају се **јонизација**. Наелектрисани јони се сасвим другачије понашају него електронеутрални атоми. На пример, неке хемијске реакције које нису могуће са атомима – постају врло вероватне за јоне. Радиоактивно зрачење на атоме најчешће делује тако што их јонизује. Поред радиоактивног зрачења, постоје и друге врсте зрачења које могу да изазову јонизацију атома. Свако такво зрачења назива се **јонизујуће зрачење**.

Радиоактивно зрачење, због свог јонизујућег ефекта, представља опасност по све живе организме.

- Јако зрачење може да уништи ћелије тако да цело ткиво престане да функционише. Такво оштећење ткива називамо **радијационим опекотинама**.
- Слабије зрачење може да изазове јонизацију појединачног молекула ДНК, због чега тај молекул више не може исправно да функционише. Измењени (мутирани) молекул ДНК може да узрокује деобу ћелије на непредвидљив и неконтролисан начин. Такве деобе доводе до појаве тумора, то јест, рака.
- Јонизација може да разгради молекул воде и да тако добијени јони касније јонизују молекул ДНК.

Ефекти јонизације могу бити смртоносни по човека, али, контролисани, у појединим областима могу да буду корисни. Интензивно гама зрачење може да се користи за стерилизацију хране, медицинских инструмената или пластичне амбалаже. На тај начин уништавају се непожељни микроорганизми.

Поред тога, због природне радиоактивности, живи свет на Земљи је одувек изложен јонизујућем зрачењу. Може се чак рећи да је јонизујуће зрачење у незанемарљивој мери утицало на еволутивне процесе на Земљи.



### САЗНАЈ ВИШЕ

**Алфа зрачење** има највећи ефекат јонизације од свих типова зрачења. Због тога то зрачење може да изазове оштећење ћелије. На срећу, на нашој кожи налази се слој мртвих ћелија који је довољно дебео да заустави зрачење. Ако, међутим, извор алфа зрачења унесемо у тело путем ваздуха који удишемо, или храном и пићем, онда нас кожа више не штити. Највећа опасност од удисања радиоактивних честица потиче од гаса радона-222.

Радон можемо да удахнемо с другим гасовима који постоје у ваздуху и да потом зрачење у плућима изазове опасна оштећења ткива. Не постоји граница за интензитет зрачења испод које бисмо били безбедни. Овај гас продукт је распада уранијума-238. Има га у земљишту и низним слојевима ваздуха. Због тога је врло корисно проветравати подрумски просторије, да бисмо смањили његово присуство у нашој околини.





### САЗНАЈ ВИШЕ

**Хаварије нуклеарних електрана** при којима се битно повећава ниво радијације – ретка су појава. Међутим, када се такви догађаји десе, опасност од загађења радиоактивним материјама лако прераста у еколошку катастрофу. У марту 2011. после земљотреса и цунамија у Јапану, неколико нуклеарних електрана доживело је хаварије због којих је количина зрачења у њиховој околини повећана више хиљада пута. То је за последицу имало велико загађење мора и земљишта, па је више десетина хиљада људи морало да напусти своје домове. Највише је страдало подручје око нуларне електране у области Фукусима.

Претходна велика нуклеарна катастрофа додела се 1986. године, у украјинском граду Чернобиљу. У области око некадашње нуклеарне електране зрачење је и данас вишеструко веће од дозвољеног.



Последице нуклеарне катастрофе у Чернобиљу



### САЗНАЈ ВИШЕ

У свакодневним приликама од вештачких извора зрачења не потиче више од једне трећине укупног зрачења које прими људски организам. Највећи део вештачких изазваног јонизујућег зрачења које људи примају, заправо, и није радиоактивно зрачење. Приликом медицинских испитивања, на пример, при снимању рендгеном, људско тело је изложено јонизујућем X-зрачењу.



Рендгенски снимак зуба

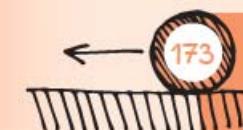


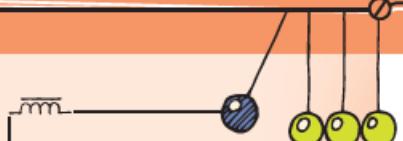
### ОГЛЕД

**РАДИОАКТИВНОСТ ДЕТЕКТОРА ДИМА:** Неки старији детектори дима користе малу количину радиоактивног елемента америцијум-241. Радијација која се емитује је минимална али се може открити помоћу Гајгер-Милеровог бројача. Ако ваша школа има овакве бројаче и детекторе дима, проверите да ли ти детектори зраче. Приближите бројач радиоактивном извору и избройте звучне сигнале бројача током једног минута. Поновите исто бројање када је бројач далеко од детектора. Уз помоћ наставника протумачите овако добијене резултате.



- Замислите да можете да изолујете један атом изотопа кобалта. Период полураспада овог изотопа је пет година. Атом се налази у сигурној замци и не може да побегне из ње, нити у њу може нешто да упадне. После пет година испитујете шта се налази у замци. Да ли можете да предвидите резултат испитивања пре мерења?
- Која врста радиоактивног зрачења највише јонизује средину кроз коју пролази?
- Који материјал најбоље апсорбује гама зрачење?



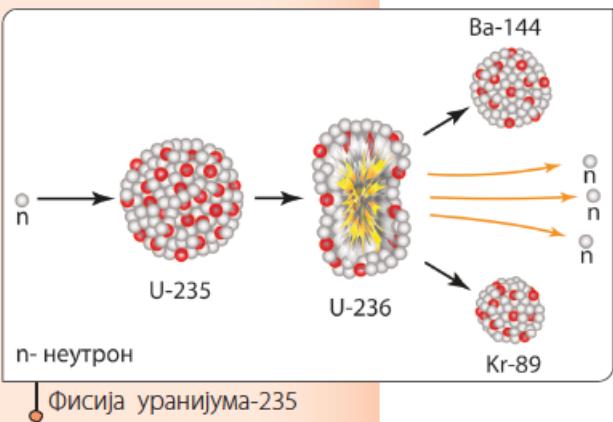


- нуклеарна физија
- ланчана реакција
- нуклеарни реактор
- нуклеарна бомба

# НУКЛЕАРНА ФИСИЈА

Поред природне радиоактивности, постоји још један начин на који масивно и нестабилно атомско језгро може да се распадне на стабилнија језгра, и тако ослободи енергију. Атомско језгро елемента с великим атомским бројем (на пример, уранијума или плутонијума), може да се распадне на два велика језгра. Ту појаву називамо **це-пањем атомског језгра**.

Енергија која се ослобађа цепањем језгра неколико пута је већа од енергије која се ослобађа при  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$  распаду. За разлику од природне радиоактивности, на чију брзину не можемо да утичемо, цепање језгра изазива се споља. Такав процес назива се **нуклеарна физија**. До физије најчешће долази када се неутрон судари с великим нестабилним језгром. Језгро апсорбује неутрон, тако постаје још нестабилније и цепа се на два дела. При цепању језгра ослобађа се и неколико (најчешће два-три) неутрона.

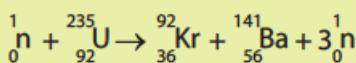


Фисија уранијума-235

## САЗНАЈ ВИШЕ

При нуклеарним реакцијама одржавају се атомски и масени број:  
број јропона на обе стране једнакосћи мора бити једнак, јер наелектрисање не можемо ни да своримо, ни да уништимо.

Слично, масени број, тј. укупан број протона и неутрона, мора бити исти на обе стране једнакости. На пример, за реакцију



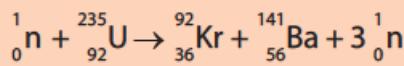
можемо да проверимо да ли се атомски и масени број одржавају:

Атомски број:  
 $92 + 0 = 36 + 56 + 3 \cdot 0$

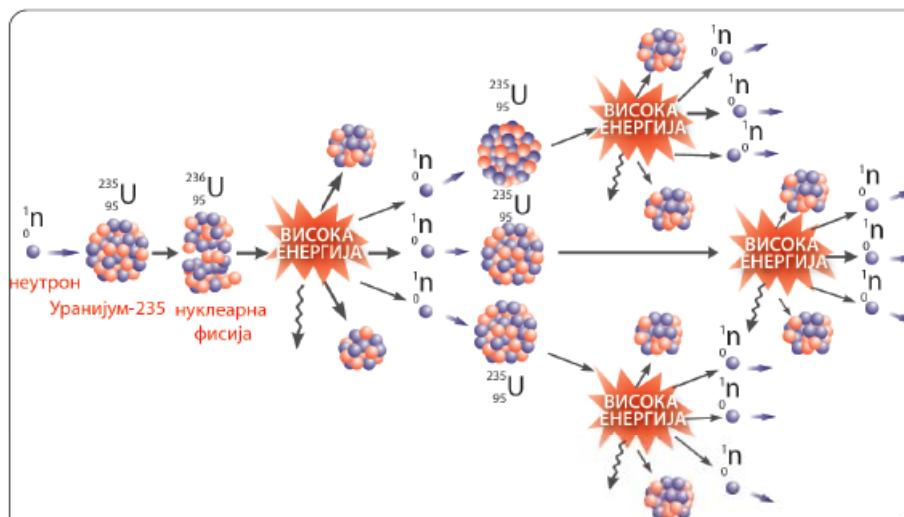
Масени број:  
 $235 + 1 = 92 + 141 + 3 \cdot 1$

**Цепање језгра** можемо да представимо једначином у којој изједначујемо све чиниоце и производе фисије.

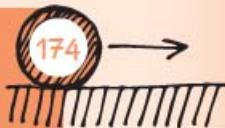
За фисију уранијума-235, та једначина изгледа овако:



Из једначине, као на слици, можемо видети да се један неутрон судара с језгром уранијума и чини нестабилну честицу, која се одмах цепа. Производи распада језгра уранијума јесу изотопи криптона и баријума и појединачни неутрони. Ти неутрони могу да изазову фисију неког другог великог и нестабилног језгра. Ако више од једног неутрона, у просеку, изазове цепање других језгара, настаје **ланчана реакција**.



Ланчана реакција



Када продукти једне реакције изазивају нове реакције исте врсте, тај низ реакција назива се **ланчаном реакцијом**. Код нуклеарне фисије то значи да – неутрони настали цепањем једног језгра – изазивају цепања других језгара у околини. На тај начин, број језгара која учествују у реакцији брзо се умножава. Да би се ланчана реакција успешно одвијала, потребно је обезбедити велики број неутрона. То се може постићи или великом бројем атома, или се неутрони значајно успоравају да не би побегли пре него што их неко језгро не захвати. Први начин се користи у **нуклеарним бомбама**, а други у **нуклеарним реакторима**. При ланчаним реакцијама ослобађа се огромна количина енергије.

## ПРИМЕНА НУКЛЕАРНЕ ФИСИЈЕ И РАДИОАКТИВНОГ ЗРАЧЕЊА

**Нуклеарни реактор** је постројење у којем се одвија контролисана ланчана реакција фисије тешких језгара. У реактору се при нуклеарним реакцијама ослобађа топлота која се користи за загревање воде. Та вода се под високим притиском претвара у водену пару и тако покреће турбогенераторе у нуклеарним електранама.

На слици видимо скициран пресек нуклеарног реактора са основним елементима. Као нуклеарно гориво користе се урањијум-235 или плутонијум-239.

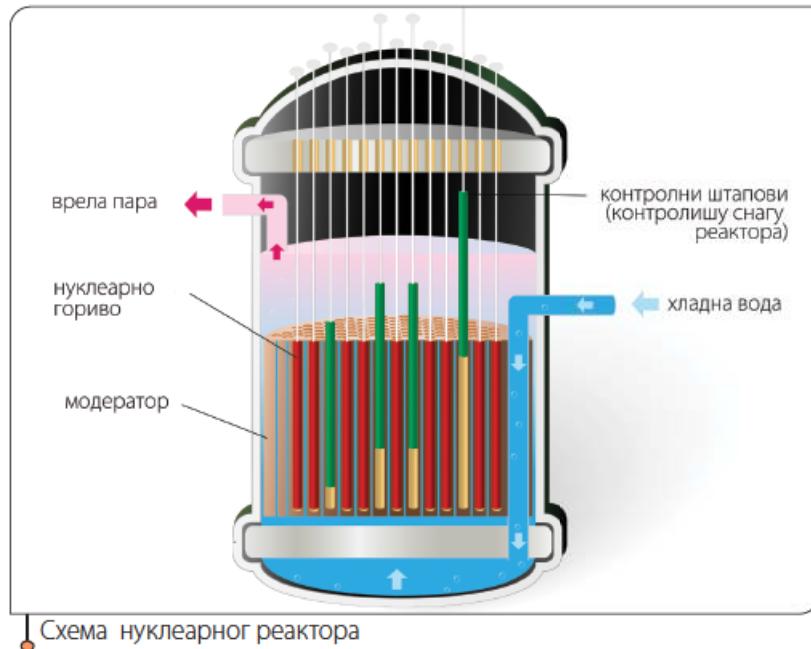


Схема нуклеарног реактора

Нуклеарно гориво користи се у облику шипки које се урањају у успоривач неутрона. Успоривач је најчешће тешка вода или графит. Између горивних шипки налазе се контролне шипке, израђене од материјала који апсорбује неутроне (на пример, од кадмијума или бора); оне служе за контролу фисије у реактору. Увлачењем контролних шипки између горивних шипки у реактору, регулише се ланчана реакција. Када се контролне шипке потпуно увуку, ланчана реакција се зауставља.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Ако је маса нуклеарног горива мала, неутрони који су настали при фисији, неће изазвати довољан број нових цепања језгара да би се наставила ланчана реакција. Да би дошло до ланчане реакције потребно је да, у просеку, из сваког језгра бар по један неутрон изазове нову фисију. Најмања количина нуклеарног горива која омогућава успешно одвијање ланчане реакције назива се **критична маса**.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Контролисана нуклеарна фисија врло је значајан извор енергије у свету. **Нуклеарне електране** данас учествују са приближно 20% у укупној светској производњи електричне енергије. Оне су врло економичне, јер је енергија која се ослобађа у нуклеарном реактору – много већа него она која се добија у електранама с фосилним горивом. Један килограм урањијума-235, на пример, ослобађа енергију као 3.000 тона угља или 2.000 тона дизела.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Успоривач неутрона у нуклеарним реакторима назива се **модератор**. За успоравање неутрона може да се користи графит или тешка вода. Модератор је неопходан зато што се у реакцијама фисије добијају превише брзи неутрони. Да би цепање језгра било успешно, потребно је смањити брзину неутрона.

Нуклерани реактори се, осим за производњу електричне енергије, користе и за добијање вештачких радиоактивних елемената неопходних за примену у медицини. Коришћење нуклеарне енергије има бројне предности, али и мане. У табели су наведене неке од њих. Покушајте да сазнате нешто више о коришћењу нуклеарне енергије и разговарајте о томе.

ПРЕДНОСТИ	МАНЕ
Велика количина енергије	Проблем одлагања радиоактивног отпада
Велике резерве нуклеарног горива	Велики ризик у случају хаварије
Нема стварања гасова стаклене баште	Сложено и опасно ископавање руде
	Опасност од злоупотребе

Табела 6.6. Предности и мане коришћења нуклеарне енергије

### САЗНАЈ ВИШЕ

**Тешка вода** је назив за воду у којој се уместо обичног водоника  $^1\text{H}$  – налази деутеријум  $^2\text{H}$ . Та течност веома је важна за одвијање ланчане реакције. Један од важнијих разлога због којих у нацистичкој Немачкој током Другог светског рата није направљена нуклеарна бомба, јесте тај што Немачка није располагала довољном количином тешке воде.

## НУКЛЕАРНА БОМБА

Драстичан пример употребе нуклеарне енергије јесте експлозија нуклеарне бомбе. За конструкцију бомбе није неопходан нуклеарни реактор у којем би се фисија контролисала. За неконтролисану ланчану реакцију довољно је да постоји критична маса нуклеарног горива.

На изради нуклеарне бомбе први пут се радило током Другог светског рата. У томе су успеле Сједињене Америчке Државе, које су бомбу употребиле на крају рата, да би убрзале капитулацију Јапана. У августу 1945, бачене су две нуклеарне бомбе на јапанске градове Хирошиму и Нагасаки. У тим градовима од експлозије бомбе страдало је најмање 150 000 људи.

С друге стране, нуклеарна бомба је неколико пута употребљена и у крајње корисне сврхе. Њом је, на пример, угашен вишегодишњи пожар на извору земног гаса у бившем Совјетском Савезу.



Печурка настала при експлозији нуклеарне бомбе изнад Нагасакија



Нагасаки после бачене нуклеарне бомбе

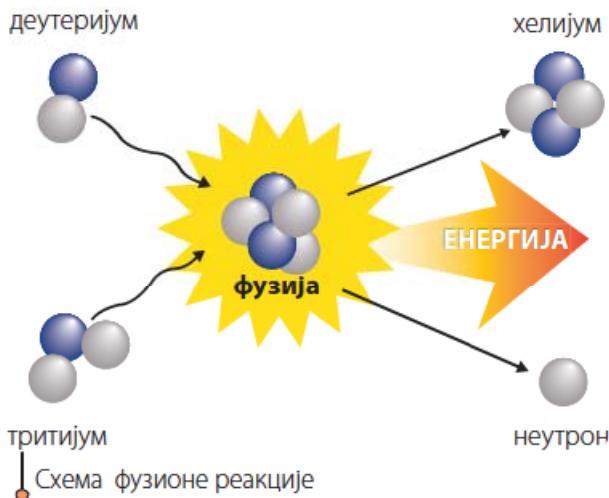


- Ако би се уранијум-235 који захвати неутрон распао на два иста атома – који би то атом био?
- Ако ће сваки атом уранијума-235 да се распадне када захвати неутрон, зашто је онда безопасно када неколико атома уранијума-235 бомбардујемо спорим неутронима, а прилично опасно ако је број атома велики?
- Да ли језгро сваког атома може спонтано да се распадне на два дела?

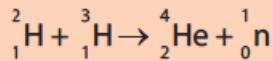


# НУКЛЕАРНА ФУЗИЈА

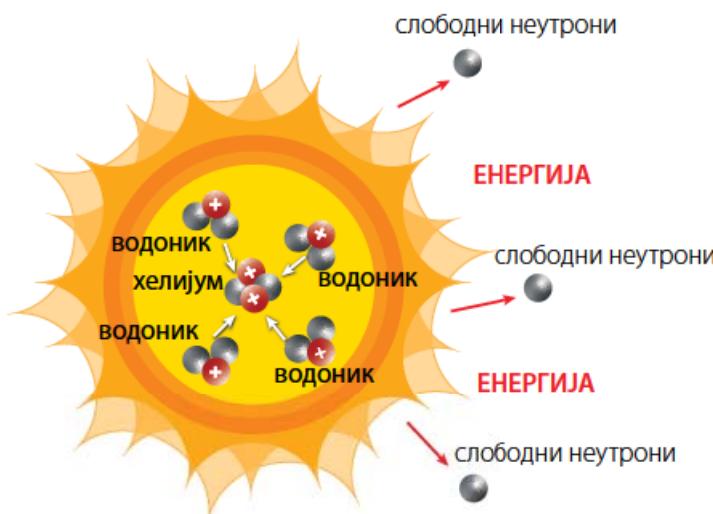
Нуклеарна фузија је процес у којем се најчешће два лакша атомска језгра спајају у једно теже језгро, и тако ослобађају енергију. Нуклеарна фузија и нуклеарна фисија су противни процеси. На слици су приказана два лака језгра водониковых изотопа која се спајају у језгро хелијума.



Процес фузије можемо представити једначином:



Приметите да се атомски и масени број одржавају и у овој реакцији. У процесу нуклеарне фузије, лака језгра спајају се у тежа, стабилнија језгра, и енергија се ослобађа. То је извор енергије који омогућава звездама, попут нашег Сунца, да зраче милијардама година. Термонуклеарни процес у звездама укључује и спајање више атомских језгара истовремено. За тако нешто потребне су веома високе температуре и велике густине супстанције. Зато процес нуклеарне фузије понекад називамо **термонуклеарним процесом**.



- нуклеарна фузија
- термонуклеарни процес

## САЗНАЈ ВИШЕ

Фузија два језгра у језгро које има масу мању него језгро гвожђа ослобађа енергију, док фузија у језгрю веће масе апсорбује енергију. Оно што смо видели код фисије потпуно је супротно у фузији: енергија фисије ослобађа се код тешких језгара, док је потребно уложити велику енергију да би се лака језгра поцепала.

## САЗНАЈ ВИШЕ

Процењује се да је у средишту Сунца густина супстанције 150 тона по кубном метру, а температура 15 милиона степени Целзијуса. У таквим условима непрестано се одвија процес фузије језгра водоника у хелијум. Ипак, тако висока температура није доволјна да отпочне процес фузије хелијума у угљеник. За то су потребне температуре од чак 100 милиона степени.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Гвожђе и никл имају највећу енергију везивања нуклеона у језгру, сразмерно броју нуклеона. Због тога су језгра тих елемената најстабилнија.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Плазма је стање материје слично гасу, у којем је део атома јонизован.



Токамак чува плазму



Област у Карадашу где се спроводи ITER пројекат

Да би се остварила нуклеарна фузија, потребно је да се језгра доведу на врло мало међусобно растојање, на којем почињу да делују нуклеарне сile.

Пошто су језгра позитивно наелектрисана, она се међусобно одбијају. Што је растојање између језгара мање, то је сила одбијања већа, па тиме наш задатак постаје све тежи. Да би се језгра довела на тражено међусобно растојање, потребно је да имају веома велике кинетичке енергије.

Како услове који владају у средишту звезда не можемо да створимо на Земљи, оно најбоље што можемо да урадимо јесте да убрзamo што већи број језгара и да их, притом, међусобно сударамо. Стање материје коју чине атомска језгра у том случају називамо **плазмом**. У таквим сударима може доћи до фузије, али још увек није енергетски исплативо држати плазму на окупу. Немогућност ефикасног задржавања плазме у термонуклеарним реакторима основни је проблем изградње нуклеарних реактора на принципу фузије.

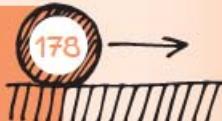
Током последњих деценија било је више успешних покушаја да се направи **токамак**, уређај који магнетним пољем задржава плазму у облику торуса. Процењује се да је тај облик најпогоднији за контролисање плазме у којој се одвија фузија, али је изградња таквог уређаја повезана с великим технолошким проблемима.

Године 2010. отпочета је изградња највећег светског токамака. У том пројекту, под називом **ITER**, учествује шест земаља које су данас водеће економске и технолошке сile, као и Европска унија. Токамак се гради у месту Кадараш у Француској. Када буде завршен, требало би да то буде још један корак ближе стварању исплативог извора енергије на бази фузије. То би нам омогућило да подижемо фузионе електране, и тако производимо јефтину и чисту електричну енергију.

Требало би да енергија добијена фузијом, по килограму утрошеног горива, буде много већа него код фисионих реактора. Ипак, основне предности фузије у односу на друге изворе енергије били су много мање загађење околине и неупоредиво веће залихе горива (деутеријума или литијума). С данашњом потрошњом електричне енергије, литијума има довољно за сто милиона година, а деутеријума за још много више.

### САЗНАЈ ВИШЕ

Нуклеарна фузија досад је успешно коришћена само у **термонуклеарним бомбама**, тј. тамо где услови не морају да буду контролисани. Термонуклеарне бомбе ослобађају стотину пута већу енергију од фисионих нуклеарних бомби.





## САЖЕТАК

- Највећи део масе атома налази се у језгру.
- **Атомско језgro** састоји се од **протона и неутрона**. Око језгра се налази **електронски омотач**.
- Број протона у језгру назива се **атомски број** и означава се са **Z**.
- Укупан број протона и неутрона у атомском језгру назива се **масени број A**.
- **Изотопи** једног елемента имају исти број протона, а различит број неутрона.
- Изотопи елемента обележавају се тако што се нагласи колики им је масени број, на пример:  $^{235}\text{U}$  или уранијум-235.
- Постоје **три типа зрачења** које производе радиоактивне супстанције: **алфа, бета и гама**.
- Најпродорнији су гама зраци, али је алфа зрачење најопасније, јер има највећу моћ јонизације.
- **Радиоактивни распад** спонтан је и случајан процес.
- Можемо да одредимо просечан број распада у неком времену, али не можемо да знамо када ће се неко одређено језgro распасти.
- **Време полураспада изотопа** јесте време потребно да се распадне половина његових језгара у узорку.
- **Природна радиоактивност** последица је постојања радиоактивних елемената у Земљиној кори, атмосфери, свемиру или самом људском телу.
- Природно зрачење је, у просеку, много веће од оног које настаје због постојања нуклеарних електрана.
- Радиоактивно зрачење на жива бића утиче тако што јонизује атоме у ћелијама, узрокујући нежељене промене у ћелијама, или престанак њиховог рада.
- Процес цепања атомског језгра под дејством честица које га погађају, назива се **нуклеарна фисија**.
- Када продукти једне реакције изазивају нове реакције исте врсте, такав низ узастопних реакција назива се **ланчана реакција**.
- **Неконтролисана ланчана реакција** цепања атомских језгара доводи до нуклеарне експлозије (нуклеарне бомбе).
- За производњу електричне енергије користе се нуклеарни реактори. У њима се одвија **контролисана ланчана реакција** цепања атомских језгара.
- **Нуклеарна фузија** је процес у којем се два лакша атомска језгра или више њих спаја у једно теже језgro.



## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Од чега се сastoјe атоми?
2. Где се налази највећи део масе атома?
3. Шта означавају атомски и масени број?
4. Каква су наелектрисања честица које улазе у састав атома?
5. Шта су изотопи?
6. Како се називају изотопи водоника?
7. Шта је јонизација?
8. Шта је радиоактивни распад?
9. Које су три основне врсте радиоактивног зрачења?
10. Које је радиоактивно зрачење најпродорније? Да ли је оно и најопасније?
11. Шта је период полураспада?
12. Како су наелектрисане честице алфа, бета и гама зрачења?
13. Шта држи нуклеоне у атомском језгру?
14. Каква је разлика између фисије и фузије?
15. Од чега се сastoјi атомско језgro?
  - a) Од електрона.
  - b) Од електрона и протона.
  - c) Од електрона, протона и неутрона.
  - d) Од неутрона и електрона.
16. Колика је маса електрона?
  - a) Приближно иста као маса неутрона.
  - b) Приближно иста као маса протона.
  - c) Много мања од масе протона.
  - d) Много већа од масе протона.
17. Атом се сastoјi од електрона, протона и неутрона. Колико је наелектрисање неутрона?

a) $-1\ e$	b) $0\ e$
v) $+1\ e$	g) $+2\ e$
	d) $-2\ e$



18. По чemu се разликују јони истог елемента?

- a) По броју електрона.
- б) По броју неутрона.
- в) По броју протона.
- г) По збиру бројева протона и неутрона.

19. Шта је од наведеног својство свих јона?

- а) Број електрона и протона не може бити исти.
- б) Број протона не може бити већи од броја електрона.
- в) Број електрона не може бити већи од броја протона.
- г) Број неутрона не може бити већи од броја протона.
- д) Број неутрона не може бити мањи од броја протона.

20. По чemu се разликују изотопи истог елемента?

- а) По броју електрона.
- б) По броју неутрона.
- в) По броју протона.

21. Колико има неутрона у језгру уранијума  $^{235}_{92}\text{U}$ ?

- а) 235
- б) 143
- в) 92
- г) 327

22. Која честица има наелектрисање  $+2e$ ?

- а)  $p$
- б)  $n$
- в)  $\alpha$
- г)  $\beta$

23. Шта је алфа честица?

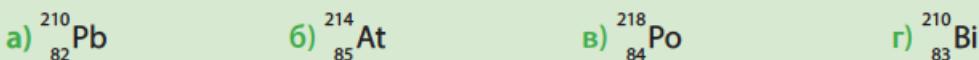
- а) атом водоника
- б) језгро водоника
- в) језгро хелијума
- г) атом хелијума



24. Шта је бета честица?

- a) атом водоника      б) језгро водоника
- в) електрон                  г) језгро хелијума
- д) атом хелијума

25. Радиоактивни полонијум  $^{214}_{84}\text{Po}$  распада се тако што емитује алфа честицу. Који атом настаје у том распаду? Искористи периодни систем елемената.



26. Период полураспада радиоактивног  $^{90}\text{Sr}$  јесте 30 година. Који ће проценат узорка  $^{90}\text{Sr}$  остати нераспаднут после 60 година?

- a) 0%      б) 25%      в) 50%      г) 75%

27. Време полураспада  $^{14}\text{C}$  износи 5 600 година. Који је од следећих исказа у вези са узорком од 10 g угљеника –14 тачан?

- а) Радиоактивни распад целог узорка биће завршен за 5 600 година.
- б) Потребно је 5 600 година да би у природи настало узорак те масе угљеника –14.
- в) После 5 600 година узорак ће садржавати само пет грама угљеника –14.
- г) После 11 200 година узорак више неће садржавати угљеник –14.

28.  $^{90}\text{Sr}$  се распада емитујући алфа честице и постаје стабилни изотоп криптона,  $^{86}\text{Kr}$ . После 19 сати распало се 75% узорка. Колики је период полураспада стронцијума-90?

- а) 4,8 h      б) 9,5 h      в) 14 h      г) 29 h

29. Због чега мала количина уранијума-235 не може да експлодира?

- а) Зато што се онда језгра не цепају.
- б) Зато што се ослобођени неутрони крећу превише брзо.
- в) Зато што је потребан уранијум-238.
- г) Зато што нема довољно језгара с којима неутрони могу да се сударе.

30. Која сила спречава да се атомско језгро распадне због одбојне електростатичке сile између протона у језгру?

- а) магнетна сила
- б) нуклеарна сила
- в) гравитациона сила
- г) центрифугална сила



31. Период полураспада радиоактивног елемента износи 6 h. Колико ће нераспаднуте супстанције (од почетна 24 g) остати после једног дана?

- а) 1,5 g      б) 2,4 g      в) 4,0 g      г) 6,0 g

32. Време полураспада атомског језгра неког изотопа износи 8 min. Колики део језгара од почетних  $N_0$  се распадне после 32 min.?

- а)  $\frac{1}{16}$       б)  $\frac{1}{4}$       в)  $\frac{7}{8}$       г)  $\frac{15}{16}$

33. Подсетите се мало шта је атомски а шта редни број и на основу тога покушајте да одговорите шта представља X у следећој реакцији?  ${}_{6}^{14}\text{C} \rightarrow {}_{7}^{14}\text{N} + \text{X}$  (\*Питање је једним делом изван градива, али је корисно за размишљање.)

- а) протон  
б) неутрон  
в) електрон  
г) алфа честицу

34. Шта, осим кисеоника, настаје у следећој реакцији?  ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{2}^{4}\alpha \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + \dots$

- а) неутрон  
б) електрон  
в) алфа честица  
г) протон

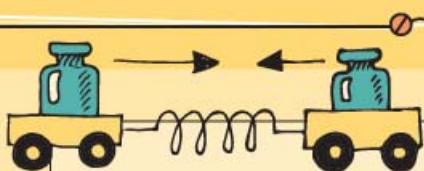
35. Који се од наведених процеса стално одиграва у Земљиној унутрашњости?

- а) радиоактивни распад уранијума  
б) фисија тешких језгара  
в) фузија водоника у хелијум  
г) фузија хелијума у угљеник

36. Где се у природи одвија фузија водоника у хелијум?

- а) У високим слојевима атмосфере.  
б) У Земљиној кори.  
в) У средишту звезда.  
г) У међувузданом простору.





## ПРОЈЕКАТ – НУКЛЕАРНА ЕНЕРГИЈА

**ЦИЉ ПРОЈЕКТА:** Анализа аргумента за и против изградње нових нуклеарних електрана.

**БРОЈ ЂАКА У ТИМУ:** Направити три тима у одељењу. Сваки тим треба да има приближно исти број ђака.

**ТОК ПРОЈЕКТА:** Групни рад. Прикупљање података о предностима и манама изградње нуклеарних електрана. Организовање јавне дискусије. Доношење закључака. Пројекат захтева више времена за припрему и организацију.

**Материјал за рад:** Подаци доступни у уџбенику и подаци пронађени на интернету.

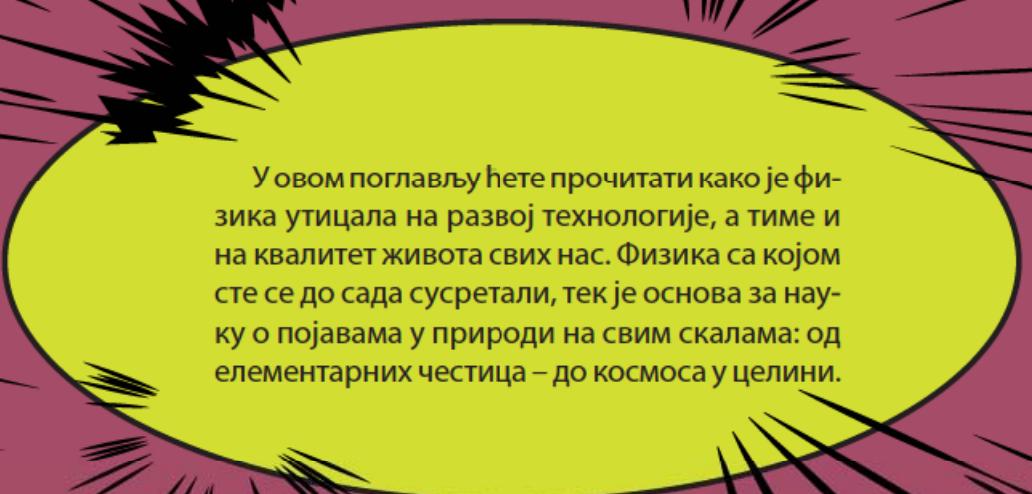
- Пре почетка рада поделите посао међусобно. Одредите основне теме за које ћете задужити неколико ученика да пронађу информације. Посебну пажњу посветити могућем загађењу, ризицима, ризику при одлагању отпада, цени изградње, цени електричне енергије овако добијене, емисији штетних гасова, диприносу решавању енергетске кризе и др.
- Када прикупите довољно информација (уз податке где сте их нашли), поделите се у три групе.
- Једна група има задатак да анализира све информације које подржавају оправданост изградње нуклеарних електрана.
- Друга група има задатак да изабере све информације које не иду у прилог изградњи.
- Трећа група треба да на основу прикупљених информација спреми питања која ће посталајти и првој и другој групи.
- Организујте јавну дебату. Прва два тима имају кратко време за презентацију основних разлога за подршку идеји коју бране.
- Онда почиње дискусија, у којој учествују сва три тима.
- Због боље организације, наставник може да буде модератор, како би обезбедио равноправан третман свих учесника.

**ЗАКЉУЧАК:**

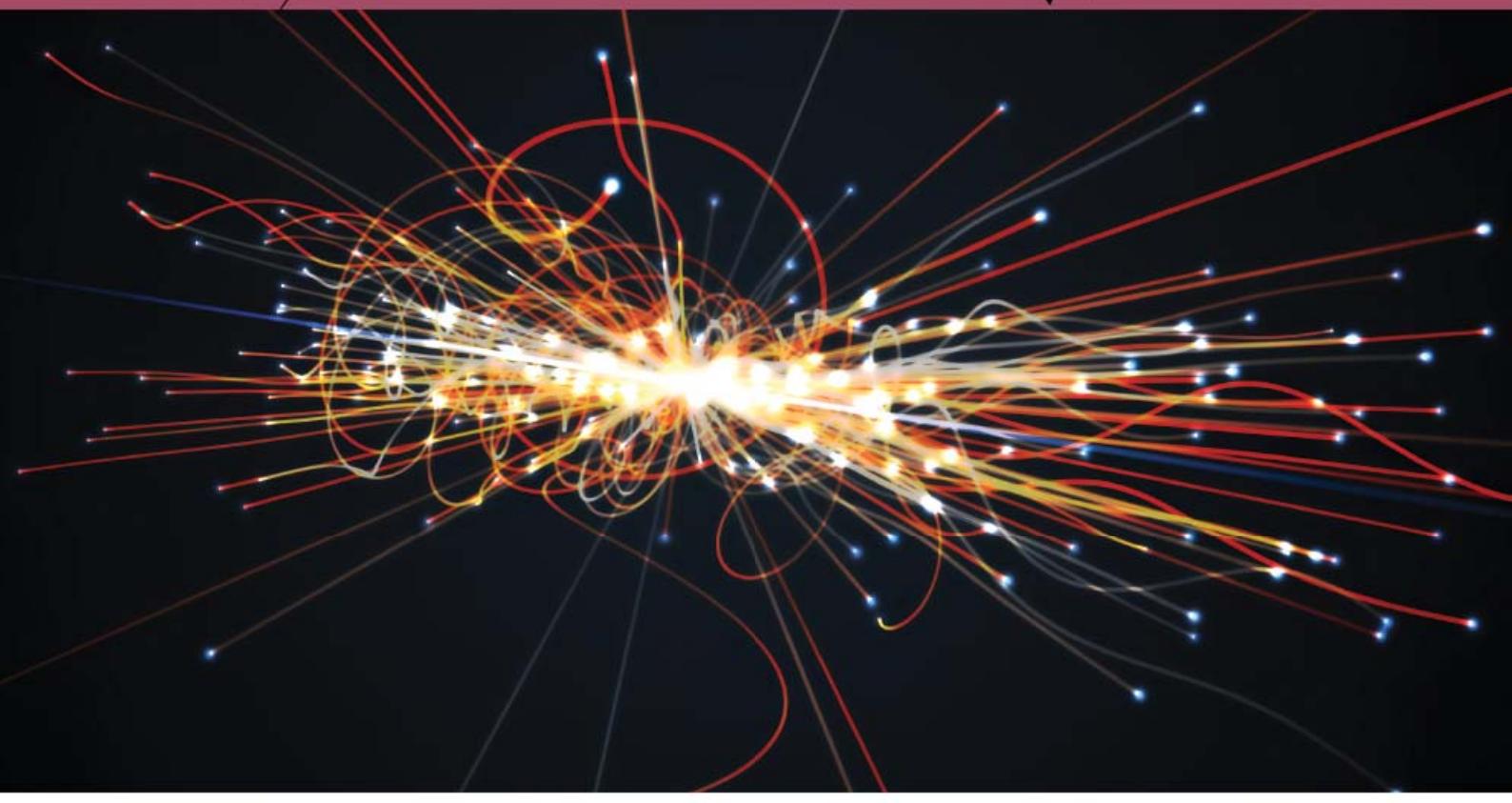
- По завршетку дебате, донесите закључке на основу свега што сте продискутовали (независно од тима у коме сте учествовали).



# ФИЗИКА И САВРЕМЕНИ СВЕТ



У овом поглављу ћете прочитати како је физика утицала на развој технологије, а тиме и на квалитет живота свих нас. Физика са којом сте се до сада сусретали, тек је основа за научку о појавама у природи на свим скалама: од елементарних честица – до космоса у целини.



# КЛАСИЧНА ФИЗИКА

- класична физика
- квантна физика
- релативистичка физика
- велики хадронски сударач



Уметнички приказ  
Галилејевог експеримента са  
убрзањем куглица, изведен  
1603. године

Физика коју сте учили током основне школе, највећим делом је настала у распону од свега три века. Иако су природне појаве изучаване и много раније, за почетак физике као науке углавном узимамо експерименте које је изводио Галилео Галилеј, почетком 17. века. Вођени његовим примером, истраживачи су почели да користе систематично мерење физичких величина и извођење експеримената за откривање математичких законитости које описују посматране појаве. Кроз такву праксу, коначно је сазрела идеја да се на добро постављена научна питања одговара експериментом. Смишљајући начине како да изведу своје експерименте, научници су стварали

нове инструменте, развијали математичке моделе и правили иновације. Многе појаве у природи су тада први пут научно објашњене, а нека њихова својства и понашање постали су предвидиви. Та могућност да се унапред предвиди и израчуна како ће се понашати неки физички објекат (нпр. мост, ракета или струјно коло) у различитим околностима, омогућила је брз технолошки развој.

Комбинација мерења, експеримената и математичког описа појава, показала се као врло успешна у проучавању света око нас. Тада опис је обухватио све објекте, од атома до небеских тела, са свим познатим начинима њиховог међусобног деловања. Математички опис појава и процеса у неживом свету био је запаљујуће прецизан и то је омогућило небројене примене научних открића, отварајући могућност за индустријску револуцију. Крајем 19. века, изгледало је као да је већ скоро све истражено и објашњено, и да физичари више неће имати шта да раде. Почетком 20. века, међутим, физичари починују више да се баве темама које су далеко од свакодневног искуства, нпр. микросветом и кретањем тела брзинама које су близке брзини светlosti. Потом у тим областима немају примере у свакодневном окружењу и не могу се објаснити без математике која превазилази градиво основне школе. Ту, међутим, није крај. Физика није готова прича. И даље има много појава за које немамо објашњење нити знамо како да поставимо експерименте којим бисмо их испитивали. У науци, увек остаје довољно изазова за будућност.

Физика коју сте учили током основне школе није савремена физика. То је „класична физика“, која је темељ данашње науке и технологије.

**САЗНАЈ ВИШЕ**  
**Математички модел** природне појаве јесте њен поједностављен опис изражен помоћу математичких формула или једначина. Добар модел је онај који објашњава појаву и даје могућност предвиђања вредности физичких величина везаних за ту појаву у различitim ситуацијама.

## ФИЗИКА И РАЗВОЈ ТЕХНОЛОГИЈЕ

Оно што је данашњи свет учинило савременим јесте његов технолошки развој. У том погледу, све машине, почевши од отварача за конзерве, па до свемирских бродова, свој настанак дугују разумевању неживе природе. Технологија је кроз масовну производњу даље мењала начин живота свих нас. Научне идеје из **класичне физике** коју сте учили (на пример, притисак, убрзање, енергија или радио-таласи) постепено су постале део свакодневног језика. Класична физика је тако утицала на начин живота свих нас, укључујући начин на који говоримо и размишљамо о свету око нас.

Поузданост научних теорија огледа се у поновљивости резултата. У лабораторијским условима то значи да експерименти дају исте резултате. У индустрији, то даје могућност за примену и серијску производњу. Прецизно и поуздано описивање понашања материјала и кретања тела, омогућило је конструкцију произвљено сложених машина. Сви алати и машине које нас окружују постоје првенствено захваљујући томе што зnamо како се крећу механички делови машина, колико оптерећење могу да поднесу, како се шире гасови у моторима, како се преноси притисак у цевима, како се струја креће кроз проводнике итд. Успешност технологије базиране на примени одређене природне појаве пресудно зависи од тога колико је појава добро описана.



Сетите се конструкција или уређаја који се, без суштинских измена, праве више од стотину година. Нпр. ваге, механички часовници, котлови или водоводне цеви. Можете ли да наведете на којим физичким принципима они раде?

## ШТА ДАНАС ИСТРАЖУЈЕ ФИЗИКА

Са аспекта класичне физике, цео неживи свет изгледа као један ћиновски механизам чије је понашање тачно одређено и где би, у принципу, све могло да се израчуна када бисмо тачно знали својства, положаје и брзине свих честица који га чине. У класичној физици нема много места за случајност и неодређеност у физичким законима.

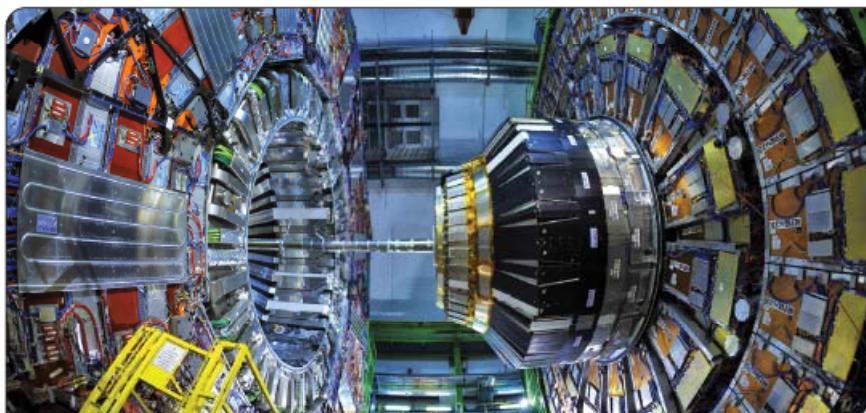
Почетком 20. века, физика је почела да открива појаве у којима је неодређеност физичких величина неизбежна. У физици микросвета (атоми и делови атома) објекти и појаве нису онакви на какве смо навикли у свакодневном окружењу. Уместо једначина које одређују положаје и брзине у физици микросвета, имамо једначине које дају вероватноће догађаја. Понављање експеримента у истим условима у микросвету не мора да има исти исход. Та физика је заснована на неодређености појава и величина које их описују. Она се назива **квантна физика**.

Слично, област у којој су изучаване брзине близке брзини светlosti, има појаве које су, такође, тешко разумљиве и непрепознатљиве у свакодневном окружењу. Та област физике назива се **релативистичка физика**. Без обзира на то што се ове две области физике баве појавама које не уочавамо у свакодневном окружењу, оне су ипак нашле своје свакодневне примене. Без квантне физике, на пример, не би било ласера, док без релативистичке физике не бисмо имали прецизну GPS навигацију. Физика 20. века се показала као веома примењива, без обзира на то што нам објекти и појаве истраживања нису блиски. Квантна и релативистичка физика су само примери области које се изучавају у физици данас. Притом се све области савремене физике међусобно преклапају. Примера ради, постоји и област квантне физике где се честице крећу брzinama близким брзини светlosti. За експерименте у тој области се користе акцелератори попут Великог хадронског сударача у ЦЕРН-у.



### САЗНАЈ ВИШЕ

ЦЕРН је европски истраживачки институт за проучавање физике високих енергија и елементарних честица. Институт чине више од десет хиљада истраживача из целог света и гигантска постројења у близини Женеве, на граници Швајцарске и Француске. Кружни тунел кроз који убрзавају наелектрисане честице има обим од 27 километара.



Велики хадронски сударач је конструкција намењена изучавању понашања честица материје на врло високим енергијама. Ова конструкција је смештена у 27 километара дугачак кружни тунел са огромним бројем супер-проводних магнета и детектора.

Физика се некада бавила врло одређеним темама у природи, као што су: кретање, сile, течности, гасови, струје, молекули итд. Интересовање истраживача за конкретне теме резултовало је настанком нових научних и техничких дисциплина. Својствима молекула, на пример, више се бави физичка хемија, док се применом електричне струје бави електротехника. За разлику од већине других дисциплина, физика се данас не бави толико конкретним објектима и њиховим појавама, колико начином на који се испитују.

Предмет истраживања у физици могу бити и најмањи познати делићи природе (елементарне честице и кваркови), као и највеће структуре за које знаамо, попут галаксија и њихових кластера. Област проучавања физике чине фундаменталне појаве и својства везана за све природне објекте. То су и потпуно једноставни механизми – као што су клатно или полуга, али и веома сложени – као што је конструкција фузионог реактора.

Предмет истраживања у савременој физици може бити било који објекат, или било која појава у природи.



ЦЕРН

Физика је одређена, пре свега, својим методама истраживања. На неки начин, ова научна дисциплина представља извидницу која се прва суочава с новим појавама и покушава да направи њихове математичке моделе и мерне инструменте за њихово испитивање.

Користећи физику, научници се данас баве најразноврснијим темама, као што су: комбиновање протеина, рад нервног система, настајање јата птица, еволуција галаксија, саобраћајне гужве, функционисање берзе, па чак и комуникација на Фејсбуку. За физику сами објекти и појаве нису толико битни, колико су важне методе којима се они изучавају. Развој нових метода истраживања јесте оно најбитније што физика пружа другим наукама. За експерименте у природним наукама најважнији продукт истраживања у физици јесу инструменти. Да би физика другим наукама била значајна и у теоријском смислу, потребно је да обе науке користе исте математичке моделе.

Рачунари су се појавили средином 20. века као продукт истраживања у области електронике и одмах су постали незаменљиво средство за раду истраживању. Пре појаве рачунара, истраживања у физици грубо су се делила на теоријска и експериментална. То што рачунар може брзо да изводи сложене прорачуне омогућило је да се природне појаве симулирају и проучавају помоћу виртуелних експеримената. Идеја о истраживањима помоћу симулација брзо је прихваћена и у другим природним дисциплинама, а посебно у техничким. Прве рачунарске симулације у науци извођене су на рачунару ENIAC за потребе војних истраживања током Другог светског рата. Данас се симулације примењују у готово свим научним делатностима и техничким дисциплинама.

## УТИЦАЈ ФИЗИКЕ НА РАЗВОЈ НАУКЕ И ТЕХНОЛОГИЈЕ

Савремени експерименти у природним наукама не би били могући без инструмената који су настајали у физичарским лабораторијама, почев од оних једноставних, попут термометра или волтметра, до веома сложених, као што је електронски микроскоп или уређај за нуклеарну магнетну резонанцију. Немогуће је побројати све инструменте који су настали као резултат истраживања у физици, а који се данас користе свуда око нас.

Практично сви инструменти којих можете да се сетите, конструисани су примењујући неку познату зависност међу физичким величинама. Термометар, на пример, користи везу између температуре и топлотног ширења, док сунчани сат користи везу између доба дана и положаја сунца. Сви ти инструменти настајали су као незграпни лабораторијски огледи, али су постали опште добро.



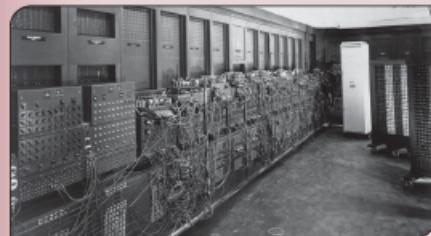
Покушајте само да набројите мерење инструменте који постоје у вашој кући: на пример, термометар у бојлеру, апарат за мерење притиска, кухињска вага итд. У којој области физике су ови инструменти првобитно настали?

### САЗНАЈ ВИШЕ

Симулације су рачунарски програми који симулирају природне појаве на основу изабраних теоријских модела. Појаву можемо да симулирамо користећи различите моделе и тако можемо добити различите резултате. На пример, различити метеоролошки модели дају различите временске прогнозе. Од мноштва модела, научници увек бирају и унапређују оне моделе који су најједноставнији и најпоузданјији.



Симулација молекула протеина



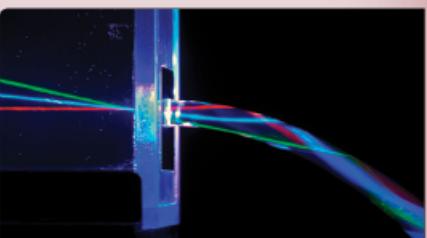
Прве рачунарске симулације физичких процеса радио је рачунар ENIAC

### САЗНАЈ ВИШЕ

Нуклеарна магнетна резонанција је природна појава код које атомска језгра у магнетном пољу апсорбују и поново емитују електромагнетно зрачење. На основу тог емитованог зрачења, можемо да одредимо распоред побуђених атомских језгара. За откриће те појаве, амерички физичар Исидор Раби (1898–1988) добио је Нобелову награду за физику. Снимање објекта помоћу нуклеарне магнетне резонанције често се назива магнетна резонанција, или само скенер. Нуклеарна дијагностика сваке године спасава животе стотинама хиљада људи.



Уређај за снимање нуклеарном магнетном резонанцом



Тотална рефлексија светlostи у оптичким кабловима



### САЗНАЈ ВИШЕ

Рендгенов апарат или уређај за снимање X-зрацима најчешће је коришћен апарат у медицини. Откриће X-зрака и могућности његове примене дугујемо немачком физичару Вилхелму Рендгену (1845–1923). На почетку 20. века, снимање X-зрацима постало је стандардна дијагностичка техника. Пона већа касније, та техника омогућила је откривање структуре најважнијег молекула у саставу живих бића, ДНК-молекула, и тако довела до скока у развоју науке и медицине.



Први рендгенски снимак, слика шаке супруге Вилхелма Рендгена, из 1895. године.



Структура молекула ДНК

Испитујући природне појаве у лабораторијским условима, физичари су често откривали сасвим нове појаве повезане са оним што је већ било добро познато. Такве појаве су, на пример, резонанција таласа или тотална рефлексија светлости. Те појаве су у природи ретке и најчешће се могу испитивати само у лабораторијским условима. Када је пронађен начин на који се рутински стварају и одржавају такви услови, појава резонанције таласа омогућила је настанак радија, а тотална рефлексија светлости настанак оптичких каблова.

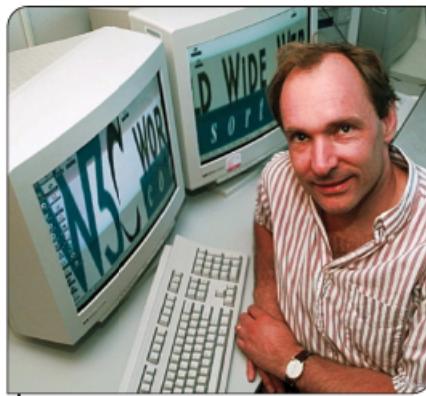
Открића појава које настају у необичним условима, онаквим какви не постоје у нашој околини, увек су посебан изазов за развој иновација. Ти производи имају велики технолошки значај и врло брзо налазе примену у технологији, медицини, индустрији, као и у даљем научном истраживању. Многи од тих производа постали су толико уобичајени, да без њих сада не можемо ни у свакодневном животу. За све те иновације заједничко је то што су настале као последица систематичног истраживања природних појава, у најразличитијим могућим условима.



### САЗНАЈ ВИШЕ

Стимулисана емисија светлости назив је појаве која узрокује настанак ласерског зрака. За откриће ласера заслужан је цео низ истраживача, који су током неколико деценија унапређивали експерименте и освајали нове технологије. Данас су ласери свуда око нас – помоћу њих се читају бар-кодови у самопослузи, служе за мерење растојања до Месеца, или као хируршки инструменти у најсложенијим операцијама.

Први веб-сајт појавио се на интернету 6. августа 1991. године. Веб (енгл. World Wide Web) настао је као решење за ефикасну размену података између рачунара у највећој светској лабораторији за физику високих енергија – CERN-у. Веб је осмислио и направио британски физичар Тим Бернерс Ли. Веб је један од примера који показују како резултати фундаменталних научних истраживања могу бити и оне иновације које примену одмах налазе у свакодневном животу.



Тим Бернерс Ли

## ЕПИЛОГ

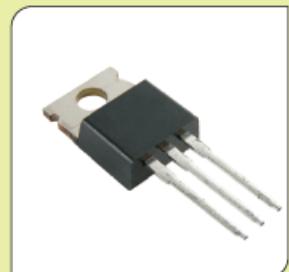
Подела природних наука (на физику, биологију, хемију итд.) – ствар је договора међу научницима. Та подела односи се, пре свега, на добро познате појмове и давно објашњене појаве, па се нове области истраживања у њу теже уклапају. Научна истраживања увек се више ослањају на идеје и резултате претходних истраживања, него на предмет истраживања науке којој формално припадају. Највећа открића у историји науке дело су управо оних научника који нису марили за границе „своје“ научне дисциплине, већ само за појаве које су испитивали. Говорити о утицају једне науке на другу, нема превише смисла. Оно што заиста утиче на истраживања и развој науке јесу открића, нове идеје и методе истраживања, као и залагање самих научника.

Основна улога научника није само да реши проблем, већ и да целом свету, а пре свега онима који припадају научној заједници, покаже како проблем може да се реши. Корист од идеје може бити много већа од користи коју доноси конкретно решење. Током историје, физичари су често први истраживали нове појаве, долазили до важних открића, и отварали пут за даља истраживања. Пут од једноставног модела, до практичне примене, понекад траје деценијама. Данас користимо технологије које су, пре педесет или сто година, постојале само као магловите идеје, да би потом пролазиле бескрајна испитивања и побољшања. Наука тако ради. Поновне провере и побољшања никада не престају.

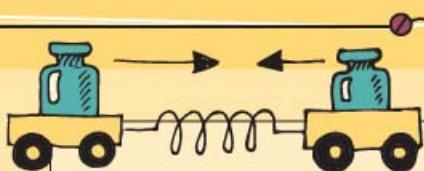
Како ће изгледати наука у деценијама које долазе, и како ће се уопште називати научне дисциплине – то не знамо. Какве ћемо практичне користи имати од истраживања која данас спроводимо – још је теже рећи. Ви који чitate ову књигу, бићете сведоци тог развоја. Ми, аутори овог уџбеника, желимо вам и више од тога – желимо вам да постанете његови активни учесници, да истражујете, без обзира на то чиме се бавите, и да још боље разумете природу и свет око вас.

## САЗНАЈ ВИШЕ

Многи сматрају да је **транзистор** највећа технолошка иновација 20. века јер је његово откриће омогућило најлијепши развој електронике. Данас, практично, сваки електронски уређај користи микрочипове који су направљени од милиона или милијарди транзистора. Транзистор је активна полупроводничка компонента са три електроде која контролише или појачава струју у делу електричног кола. Први транзистор су направили Вилијам Шокли, Џон Бардин и Волтер Братајн 1948. године. За ову иновацију су добили Нобелову награду.



Полупроводнички транзистор



## ПРОЈЕКАТ – GPS УРЕЂАЈИ

**ЦИЉ ПРОЈЕКТА:** Пример уређаја који је у масовној употреби, а за чију конструкцију је било потребно употребити читав низ великих открића из физике.

Број ћака у тиму: четири-пет

**Материјал за рад:** Подаци доступни у уџбенику. Подаци пронађени у другој литератури или на интернету.

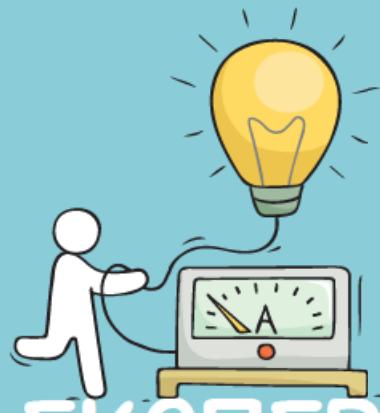
**ТОК ПРОЈЕКТА:** Прикупљање података о открићима која су омогућила конструкцију GPS уређаја.

- Прикупљање података о открићима која су довела до конструкције GPS-а.
- Подела у тимове, у оквиру којих би свака група била задужена да прикупи додатне податке о једном важном открићу.
- Састављање заједничког извештаја свих група. Извештај би могао да садржи откриће, време када се десило, и врло кратко објашњење за шта је било неопходно при конструкцији уређаја.
- Водите рачуна да су многа открића из области физике коју нисте радили у школи, тако да се при прикупљању података треба ограничiti само на основне информације.

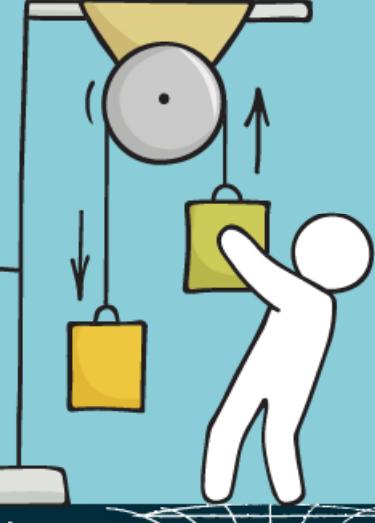
### ЗАКЉУЧАК:

- Извештај би требало да нам покаже колики су темељи на којима је саграђен уређај који је постао део готово свакијег свакодневног живота. Важно је и поменути да постоји мноштво таквих примера у нашој околини.





# ЕКСПЕРИМЕНТАЛНЕ ВЕЖБЕ

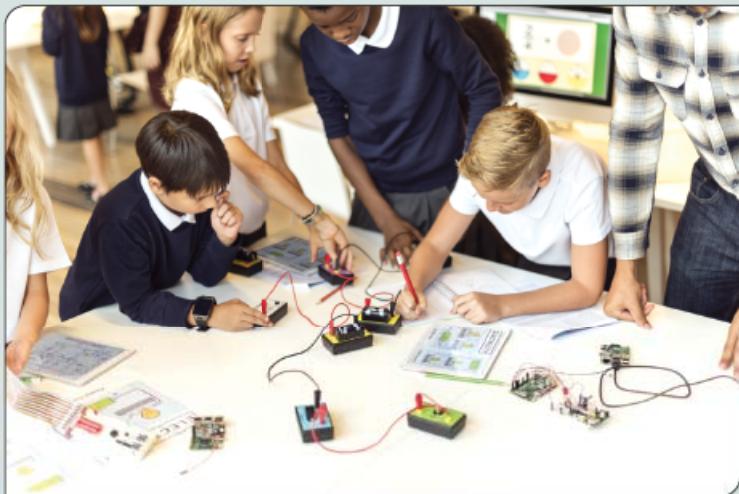


$\vec{E} = \sum_{i=1}^N E_i$   $\Psi(x)$   $\frac{1}{\lambda} = R z^2 \left( \frac{1}{m_2} - \frac{n}{n_2} \right)$   $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{s}$   $A = A_0 e^{-\mu t}$   
 $\sigma = \sigma T^4$   $P = mg$   $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{L} = \frac{C}{\mu_0 n^2 V}$   $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{L}{k}}$   $\chi = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}$   $A = \frac{dA}{dt} t + A_0$   
 $C = A \cos(\omega t + \alpha)$   $\omega = 2\pi\nu$   $\Phi = BS \cos\alpha$   $\Psi_n = \sqrt{\frac{2}{L}} \sin \frac{n\pi x}{L}$   $V_K = \frac{A}{h}$   $C = C_0 \mu$   
 $\zeta = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{B^2 T}{M^2 \cdot K^4}$   $W = |\Psi|^2$   $\nu = \frac{1}{\lambda} \cdot \omega$   $\Delta m > 0$   $\Delta m < 0$   
 $\sigma = \alpha \sigma T^4$   $x = A_0 e^{\mu t} \cos(\omega t + \alpha)$   $E = mc^2$   $h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$   $m_o = -$   $\langle \lambda \rangle = (\sqrt{2\pi d^2 n})^{-1}$   
 $v_m = \frac{b}{T}$   $b = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{K}$   $p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$   $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$   
 $\varphi = \arctan \frac{A_1 \sin \alpha_1 + A_2 \sin \alpha_2}{A_1 \cos \alpha_1 + A_2 \cos \alpha_2}$   $\omega = 2\pi\nu$   $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega^2 - \beta^2}}$   $R = \frac{w}{t \cdot s}$   $\beta = \frac{r}{2m}$   $\Delta N = N \frac{4}{\sqrt{\pi}} e^{-r^2/4m^2}$   
 $\pm m \lambda_{0,1,2, \dots}$   $\lambda = vT$   $k = \frac{2\pi}{\lambda}$   $p_o = \frac{w}{t \cdot s}$   $\rho = \frac{w}{t \cdot s \cdot c} = \frac{1}{c}$   $u = \frac{v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$   
 $f_p = \frac{f_0}{2\beta \sqrt{\omega^2 - \beta^2}}$   $w = \frac{1}{2} m \beta^2 \omega^2$   $\xi = A \cos(\omega t - kx)$   $p = \frac{1}{c} \sqrt{w_x(w_k + 2E_0)}$   $\Delta m = Z_m p + N_{m-1} - m$   
 $\gamma = F \cdot v$   $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x$   $P = nkT$   $\langle \varepsilon \rangle = \frac{3}{2} kT$   $E_n = \frac{h^2}{8ml^2} n^2$   $\mathcal{E}_{cb} = \Delta m c^2$   $\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$   $\langle z \rangle = \sqrt{2\pi d^2 n \langle v \rangle}$   
 $= \frac{1}{3} P \langle v \rangle \times \lambda$   $U = \frac{1}{2} \frac{m}{\mu} RT$   $\frac{PV}{T} = \frac{m}{\mu} \cdot R = 0,01$   $\nu = \frac{N}{Na} \cdot \frac{n}{V}$   $\sigma = en(U_n + U_p)$   $f(v) = 4\pi \left( \frac{2\pi kT}{m_e} \right)^{1/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$   $\Delta u = \frac{\Delta v}{v^2}$   
 $G_2 = \frac{5}{2} \cdot \hbar \omega (n=2)$

# ПРАВИЛА ЗА БЕЗБЕДАН РАД У ШКОЛСКОЈ ЛАБОРАТОРИЈИ ЗА ФИЗИКУ

У лабораторијама се налазе многи уређаји и материјали којима треба приступати са посебном пажњом. Школске лабораторије углавном користе опрему која је безбедна за ученике, али је неопходно да се придржавате основних правила безбедности у лабораторији:

- Сви огледи и експерименти у школској лабораторији треба да се спроводе под надзором квалификованог наставника или инструктора.
- Уколико наставник процени да је то потребно, ученици треба да носе одговарајућу личну заштитну опрему, укључујући заштитне наочаре
- Пре него што започнете рад у лабораторији, проверите да ли опрема показује знаке оштећења. Немојте користити оштећену опрему.
- Користите нисконапонске изворе енергије за експерименте кад год је то могуће.
- Увек искључите извор напајања и искључите га из струјног кола пре него што направите било какве промене у електричном колу.
- Уверите се да су жице и везе добро изоловане. Користите изолациону траку да покријете изложене жице и спречите кратак спој.
- Држите течност даље од електричне опреме и склопова. Не рукујте електричним компонентама влажним рукама.
- Будите опрезни када користите батерије, посебно оне које се могу пунити више пута. Придравајте се правила за руковање батеријама која су на њима одштампана.
- Користите одговарајуће отпорнике да бисте ограничили јачину струје и спречили повреде или оштећење елемената електричног кола.
- Јасно обележите сву електричну опрему и склопове како бисте указали на напон, поларитет и потенцијалне опасности.



## МЕРЕЊЕ ПЕРИОДА ОСЦИЛОВАЊА КЛАТНА

**ПОНОВИТИ:** период осциловања, математичко клатно, период осциловања математичког клатна, грешке мерења

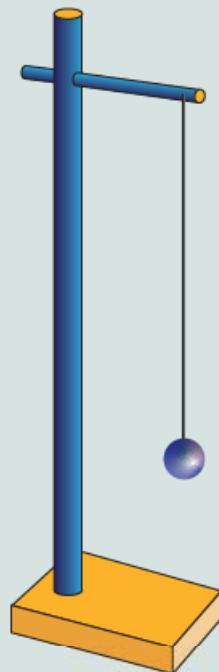
**ПРИБОР:** математичко клатно којем може да се мења дужина, хронометар, метар



### ЗАДАТАК 1

Измерите дужину клатна од тачке вешања до центра куглице. Одредите вредност најмањег подеока на метру. Вредност најмањег подеока управо је једнака апсолутној грешци дужине. Податке упишите у табелу.

$\ell$ [cm]	$\ell$ [m]	$\Delta\ell$ [cm]	$\Delta\ell$ [m]



### ЗАДАТАК 2

$t$ [s]	$t_{sr}$ [s]	$T = \frac{t_{sr}}{10}$ [s]

Изведите куглицу из равнотежног положаја (вертикалног положаја конца), али тако да угао от克лона буде мали. Пустите клатно да осцилује. Измерите време за које куглица направи бар 10 пуних осцилација (10 периода). Што више осцилација куглица направи, то боље. Мерење поновите више пута. Податке упишите у табелу.

**ДОДАТАК:** Ово је погодно место на којем се лако може израчунати грешка мерења времена. Грешка за свако појединачно мерење јесте разлика измереног времена и средње вредности времена. Када израчунате све разлике, изаберите ону која је највећа. Затим највећу разлику заокружите по правилима заокругљивања. На крају израчунајте грешку за период по формулама из табеле.

$\Delta t$ [s] =   $t - t_{sr}$	Највећа вредност $\Delta t$	Заокружена вредност $\Delta t$	$\Delta T = \frac{\Delta t}{10}$ [s]



### ЗАДАТАК 3

$T$ [s]	$T_{sr}$ [s]

Једначина која повезује период математичког клатна и дужину клатна јесте:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$



Поновите цео оглед за неколико дужина клатна.



Зашто је боље да меримо време за што више осцилација, па тек онда да израчунамо период?

## ОДРЕЂИВАЊЕ УБРЗАЊА ЗЕМЉИНЕ ТЕЖЕ ПОМОЋУ МАТЕМАТИЧКОГ КЛАТНА

**ПОНОВИТИ:** период осциловања, математичко клатно, период осциловања математичког клатна, грешке мерења

**ПРИБОР:** математичко клатно којем може да се мења дужина, хронометар, метар



Измерите дужину клатна од тачке вешања до центра куглице ( $\ell$ ). Упишите резултат у табелу. Изведите клатно из равнотеже за неколико центиметара али тако да нит и даље буде затегнута. Онда пустите клатно да се креће. Измерите време потребно да клатно направи 10 осцилација ( $T$ ). Упишите резултат у табелу. Израчунајте и упишите резултате за период и квадрат периода. Користећи формулу за период математичког клатна, израчунајте вредност убрзања Земљине теже и упишите резултат у табелу. Поновите поступак за неколико различитих дужина клатна (најмање три). Све измерене и израчунате вредности упишите у табелу.

	$\ell$ [m]	$t$ [s]	$T \frac{t}{10}$ [s]	$T^2$ (s <sup>2</sup> )	$g \frac{m}{(s^2)}$
1					
2					
3					
...					

**ПОМОЋ:** Како је период осциловања математичког клатна једнак

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{1}{g}}, \text{ добијамо да је } T^2 = 4\pi^2 \frac{1}{g}$$

$$\text{односно: } = 4\pi^2 \frac{1}{T^2}$$



Израчунајте средњу вредност добијених резултата за вредност убрзања Земљине теже (саберете све резултате и поделите збир са бројем мерења):

$$g_{sr} = \frac{g_1 + g_2 + g_3}{3}$$



Колико се резултат који сте добили разликује од очекиваних  $9,81 \frac{m}{(s^2)}$ ? Како бисте објаснили разлику?

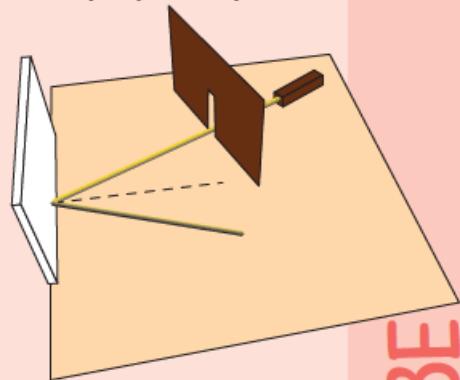
## ПРОВЕРА ЗАКОНА ОДБИЈАЊА СВЕТЛОСТИ КОРИШЋЕЊЕМ РАВНОГ ОГЛЕДАЛА

**ПОНОВИТИ:** равно огледало, закон одбијања светлости, грешка мерења

**ПРИБОР:** јак извор светлости, шаблон од тврђег картона или танке шперплоче, лист папира, мало огледало правоугаоно, две штипальке, лењир и угломер.

### ЗАДАТАК 1

Поставити извор, поставити шаблон са прорезом вертикално, поставити папир тако да се не мрда током мерења (залепити га лепљивом траком за сто ако је потребно).



### ЗАДАТАК 2

Поставити огледало тако да стоји вертикално, под произвољним углом у односу на зрак светлости који пролази кроз процеп. Обележити на папиру положај огледала (повући линију на којој се огледало налази) и неколико тачака на упадном и одбојном зраку.

### ЗАДАТАК 3

$\alpha$		$\Delta\alpha$	
$\beta$		$\Delta\beta$	

Кроз тачке повући линије које представљају упадни и одбојни зрак. У тачки одбијања повући нормалу на линију на којој је било огледало. Измерити упадни и одбојни угао, угломером. Проценити грешке мерења.

## ОДРЕБИВАЊЕ ЖИЖНЕ ДАЉИНЕ САБИРНОГ СОЧИВА

**ПОНОВИТИ:** жижка сабирног сочива, грешка мерења

**ПРИБОР:** батеријска лампа, лупа, лењир или метарска трака

### ЗАДАТАК 1

Поставите батеријску лампу на хоризонталну површину (сто, на пример), и уперите је у зид. Укључите лампу и поставите лупу између лампе и зида. Померајте лупу док на зиду не добијете врло јасну, што је могуће мању, светлу тачку. Означите положај лупе. Измерите растојање лупе од зида, забележите резултат. Поновите поступак неколико пута. Напомена: ако никако не можете да добијете јасну слику на зиду, померите батерију да буде ближа зиду.

$\ell$ [cm]	$\ell_{sr}$ [cm]	$\Delta\ell$ [cm]	$\Delta\ell$ [cm]

Жижна даљина сочива је:  $\ell_{sr} \pm \Delta\ell =$

Ако неко носи наочаре, и притом је далековид (сочива наочара су сабирна), можете цео оглед поновити, пажљиво, са наочарима. Када нађете жижну даљину, израчунајте оптичку јачину сочива. Упоредите са податком који знаете од оптичара.

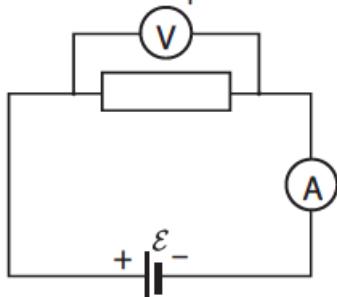
## ЗАВИСНОСТ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ ОД НАПОНА НА ОТПОРНИКУ

**ПОНОВИТИ:** везивање амперметра и волтметра у коло електричне струје, начин повезивања извора електричне струје

**ПРИБОР:** више извора електричне струје, амперетар, волтметар, проводници



Повежите електрично коло као на слици.



Измерите јачину струје и напон на отпорнику за сваки од извора засебно и, ако је могуће, направите све могуће комбинације извора. У комбинацијама извори треба да буду повезани редно, тако да укупна електромоторна сила буде једнака збиру електромоторних сила појединачних извора. За сваки извор измерите јачину струје и напон на отпорнику у колу. Одредите вредности најмањег подеока за амперметар и волтметар. Те вредности биће апсолутне грешке мерења јачине струје и напона. Податке упишите у табелу.

Извор	Јачина струје [A]	Напон [V]	$\Delta I$ [A]	$\Delta U$ [A]
Извор 1				
Извор 2				
Извор 3				
Извори 1 и 2				
Извори 1 и 3				
Извори 2 и 3				
Извори 1, 2 и 3				

# ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА



## ЗАДАТАК 2

На основу података из табеле, нацртајте график зависности јачине електричне струје од напона на отпорнику.



## ЗАДАТАК 3 НАПРЕДНИ НИВО\*

Уз консултације са осталима, покушајте да одредите вредност отпорности отпорника који сте користили у овом експерименту.



- Ако немате више извора струје, да ли сте могли да поновите мерење више пута и да нацртате график за тако добијене податке? Објасните.

**ДОДАТАК:** Ако немате на располагању више извора, а имате отпорник са променљивом отпорношћу (реостат), можете њега искористити за мењање јачине струје у колу и напона на отпорнику.

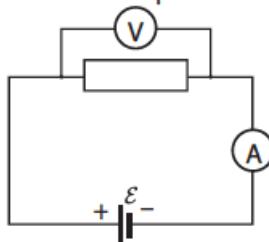
## ОДРЕЂИВАЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ОТПОРНОСТИ ОТПОРА У КОЛУ ПОМОЋУ АМПЕРМЕТРА И ВОЛТМЕТРА

**ПОНОВИТИ:** Омов закон, везивање амперметра и волтметра у коло електричне струје

**ПРИБОР:** извор електричне струје, амперетар, волтметар и неколико отпорника



Повежите електрично коло као на слици.



За сваки отпорник повезан у коло измерите јачину електричне струје и напон на њему. Одредите вредности најмањег подеока за амперетар и волтметар. Те вредности биће апсолутне грешке мерења јачине струје и напона. На основу Омовог закона, за измерене вредности јачине струје ( $I$ ) и напона ( $U$ ) израчунајте одговарајуће отпорности ( $R$ ). Попуните табелу.

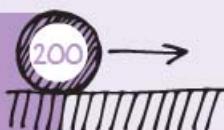
Отпорник	Јачина струје [A]	Напон [V]	$\Delta I$ [A]	$\Delta U$ [A]	Отпорност [R]
Отпорник 1					
Отпорник 2					
Отпорник 3					
...					



Да ли у колу електричне струје које сте користили у овој вежби, смете да замените места амперетру и волтметру?

• **НАПРЕДНИ НИВО\***

Замислите да на располагању имате више извора струје, различитих електромоторних сила. Ако је потребно да искористите само један извор (или једну комбинацију извора), који извор (или комбинацију) бисте изабрали, и зашто?



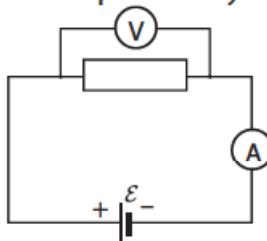
## МЕРЕЊЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ СТРУЈЕ И НАПОНА У КОЛУ СА СЕРИЈСКИ И ПАРАЛЕЛНО ПОВЕЗАНИМ ОТПОРНИЦИМА И ОДРЕБИВАЊЕ ЕКВИВАЛЕНТНЕ ОТПОРНОСТИ

**ПОНОВИТИ:** Омов закон, везивање амперметра и волтметра у коло електричне струје, редна и паралелна веза отпорника

**ПРИБОР:** извор електричне струје, амперетар, волтметар и неколико отпорника



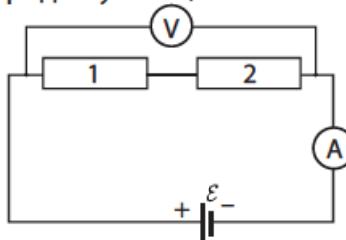
За сваки отпорник повежите коло са слике. Измерите јачину струје и напон, израчунајте отпорност и, на начин који је описан у претходној вежби, израчунајте грешке за јачину струје, напон и отпорност. Резултате и грешке упишите у табелу.



Отпорник	Јачина струје $I$ [A]	$\Delta I$ [A]	Напон $U$ [A]	Отпорност $R$ [ $\Omega$ ]
Отпорник 1				
Отпорник 2				
...				



Повежите два отпорника редно у коло, као на слици.



Измерите јачину струје и напон, израчунајте отпорност и грешке свих величине и податке упишите у табелу.

Отпорник	Јачина струје $I$ [A]	$\Delta I$ [A]	Напон $U$ [A]	Отпорност $R$ [ $\Omega$ ]
Редна веза 1 и 2				
...				

Израчунајте еквивалентну отпорност за два редно везана отпорника, резултат упишите у следећу табелу:  

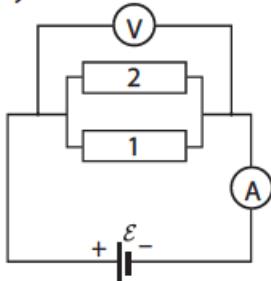
$$R_e = R_1 + R_2$$

Измерена вредност $R_e$ [ $\Omega$ ]	Израчуната вредност $R_e$ [ $\Omega$ ]

# ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА



Паралелно вежите опторонике у коло са слике.



Измерите јачину струје и напон, грешке мерења и све резултате упишите у табелу:

Отпорник	Јачина струје $I$ [A]	$\Delta I$ [A]	Напон $U$ [A]	Отпорност $R$ [ $\Omega$ ]
Редна веза 1 и 2				
...				

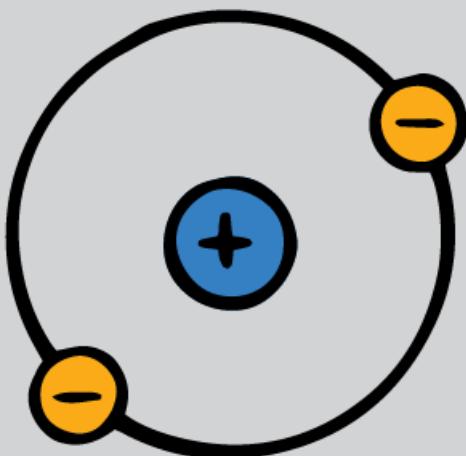
Еквивалентна отпорност два паралелно везана отпорника добија се из формуле:

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

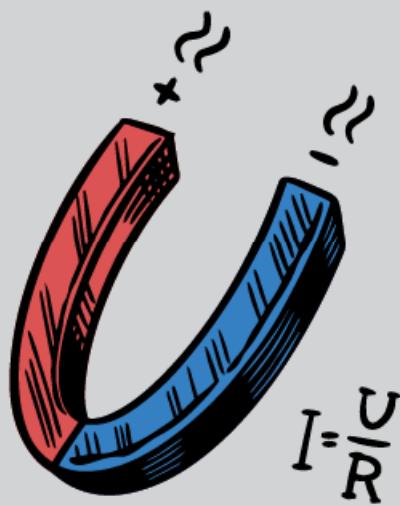
Измерена вредност $R_e$ [ $\Omega$ ]	Израчуната вредност $R_e$ [ $\Omega$ ]



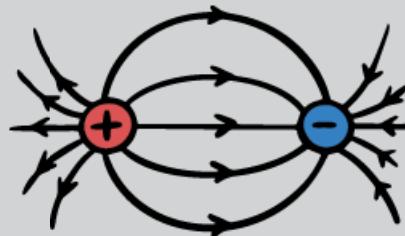
- Да ли у колу електричне струје који сте користили у овој вежби, смете да замените места амперметру и волтметру?
- (\* Напредни ниво) Замислите да на располагању имате више извора струје, различитих електромоторних сила. Треба да искористите само један извор (или једну комбинацију извора). Који извор (или комбинацију) бисте изабрали, и зашто?



# РЕШЕЊА



$$\pi = 3,1415$$



# ОСЦИЛАТОРНО И ТАЛАСНО КРЕТАЊЕ

## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Мерна јединица за фреквенцију је херц, Hz ( $\frac{1}{s}$ ).
2. Фреквенција је обрнуто сразмерна периоду  $\nu = \frac{1}{T}$ .
3. За време од једног периода клатно два пута прође кроз равнотежни положај.
4. Период осциловања математичког клатна зависи од дужине клатна и убрзања Земљине теже.
5. Осцилатор има највећу кинетичку енергију када пролази кроз равнотежни положај. Тада је потенцијална енергија једнака нули, па је укупна механичка енергија једнака кинетичкој енергији. Потенцијална енергија је највећа у амплитудним положајима.
6. У реалном случају постоји трење и отпор ваздуха. Силе трења и отора ваздуха делују тако да смањују амплитуду осциловања што после неког времена доводи до заустављања љуљашке.
7. Није добар пример, зато што дете углавном не мирује на љуљашци. Покретима на љуљашци може да повећа или смањи амплитуду осциловања, тако да утиче на кретање љуљашке.
8. Два основна типа таласа су транверзални и лонгитудинални.
9. Највећу таласну дужину имају тонови са најмањом фреквенцијом. Брзина звука не зависи од фреквенције таласа. Производ фреквенције и таласне дужине је једнак брзини таласа, која је скоро константна ако се не мења температура. Зато таласи високих фреквенција имају малу таласну дужину, и обрнуто, таласи малих (ниских) фреквенција имају велике таласне дужине.
10. За простирање било каквог механичког таласа је неопходна материјална средина. У вакууму нема честица, па нема шта да преноси механички талас, па самим тим ни звук.
11. г) убрзање. 12. б) правац. 13. б) 12 h
14. а) Када је куглица у равнотежном положају. У равнотежном положају резултујућа сила је једнака нули, а самим тим је и убрзање једнако нули, по другом Њутновом закону.

15. в) 4 A

16. б)  $t = 0,75 T$

Ако клатно у почетном тренутку пролази кроз равнотежни положај онда ће на сваких пола периода поново пролазити кроз равнотежни положај ( $0,5 T, T, 1,5 T$ ). Једини тренутак од понуђених када клатно није у равнотежном положају, па је самим тим најдаље удаљено од њега, је  $0,75 T$ .

17. в)  $T\sqrt{3}$

Пошто је период сразмеран квадратном корену дужине клатна, онда ако се дужина утростручи, период ће се повећати  $\sqrt{3}$  пута.

18. г) T

Период математичког клатна не зависи од масе куглице, па се неће променити ако се мења маса куглице.

19. г) Смањити дужину клатна четири пута.

20. в) Растојању између најближих тачака које осцилују на исти начин.

21. в) Фреквенција је обрнуто сразмерна таласној дужини.

Производ фреквенције и таласне дужине је једнак брзини простирања таласа. Самим тим што је фреквенција већа то је таласна дужина мања, што значи да су ове две величине обрнуто сразмерне.

22. г) Кроз вакуум

23. г) Од 20 до 20 000 Hz.

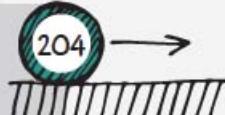
24. в) Мешавина звукова различитих фреквенција.

25. б) Звук фреквенције преко 20.000 Hz.

26. в) Кроз гвожђе.

Брзина звука зависи у великој мери од густине средине. Гвожђе од понуђених супстанција има убедљиво највећу густину, па је самим тим брзина звука у њему највећа.

27. г) Од средине кроз коју талас пролази.



## РЕШЕЊЕ ЗАДАТКА

1. Период осциловања може да се одреди као количник времена осциловања и броја осцилација, тако да је  $T = \frac{t}{n} = 0,5\text{ s}$ .

2. Пошто је  $\nu = \frac{1}{T}$ , заменом бројне вредности за период осциловања, добијамо да је  $\nu = 0,125\text{ Hz}$ .

3. Период осциловања  $T = \frac{1}{\nu} = 0,25\text{ s}$ .

4. Период осциловања  $T = \frac{t}{n} = 0,33\text{ s}$ . Фреквенција осциловања се израчунава као реципрочна вредност периода осциловања, тако да је  $\nu = \frac{1}{T} = 3\text{ Hz}$ .

5. Период обртања елисе се израчунава као количник укупног времена и броја обратаја  $T = \frac{t}{n} = 0,04\text{ s}$ . Фреквенција обртања је  $\nu = \frac{1}{T} = 25\text{ Hz}$ .

6. Велика казаљка часовника направи један пун круг за 1 час, тј. 3600 секунди, тако да је  $T = 1\text{ h} = 3600\text{ s}$ . Фреквенција је  $\nu = 0,00028\text{ Hz} = 0,28 \cdot 10^{-3}\text{ Hz} = 0,28\text{ mHz}$ . Мала казаљка часовника направи један пун круг за 12 часова, тј. 43 200 секунди, тако да је  $T = 12\text{ h} = 43200\text{ s}$ . Фреквенција је  $\nu = 0,00002315\text{ Hz} = 23,15 \cdot 10^{-6}\text{ Hz} = 23,15\text{ }\mu\text{Hz}$ . Мања казаљка има 12 пута већи период и 12 пута мању фреквенцију.

7. Кад клатно направи једну пуну осцилацију, куглица пређе пут четири пута дужи од амплитуде, 4 A. Пут који куглица пређе кад направи 5 пуних осцилација износи  $s = 5 \cdot 4A = 100\text{ cm}$ .

8. Током једне осцилације клатно пређе пут од  $\frac{160}{5}\text{ cm} = 32\text{ cm}$ . Како током једне осцилације клатно пређе пут од 4 амплитуде, то значи да је  $A = \frac{32}{4}\text{ cm} = 8\text{ cm}$ .

9. Крајњи горњи и крајњи доњи положај представљају положаје са највећим растојањем од равнотежног положаја. Равнотежни положај се налази на половини тог растојања. Пошто је амплитуда највеће растојање од равнотежног положаја, тада је амплитуда  $A = \frac{\ell}{2} = 6\text{ cm}$ . Период је два пута већи од времена потребног да куглица пређе са једног на други крај. Стога је период осциловања  $T = 1\text{ s}$ .

10. Период осциловања математичког

клатна за  $\ell = 2,5\text{ m}$  и  $g = 10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$  једнак је  $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} = 3,14\text{ s}$ .

11. Дужина је  $25\text{ cm} = 0,25\text{ m}$ .

$T = 2\pi\sqrt{\frac{0,25\text{ m}}{10\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 2\pi\sqrt{0,025\text{ s}^2}, T = 0,99\text{ s} \approx 1\text{ s}$ .

Због тога што је период клатна износи приближно једну секунду, клатно се назива секундно клатно.

12. Пошто је вредност гравитационог убрзања

на Месецу  $g_m = 1,67\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ , за период осциловања се добија  $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g_m}} = 4,86\text{ s}$ . На Земљи је период овог клатна  $2,00\text{ s}$ .

13. Период осциловања математичког клатана

$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \approx 2\text{ s}$ . Пошто клатно клатно за две секунде направи једну осцилацију, за 100 пуних осцилација је потребно  $t = nT = 200\text{ s}$ .

14. Период осциловања математичког клатана

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \approx 7,7\text{ s}$ .

Фреквенција је  $\nu = \frac{1}{T} = 0,13\text{ Hz}$ .

15. Пошто је  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g_M}}$ , гравитационо убрзање на Марсу може да се израчуна као  $g_M = \frac{4\pi^2 l}{T^2} = 3,73\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ .

16. Период осциловања првог клатна је

$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}$  а период осциловања другог клат-

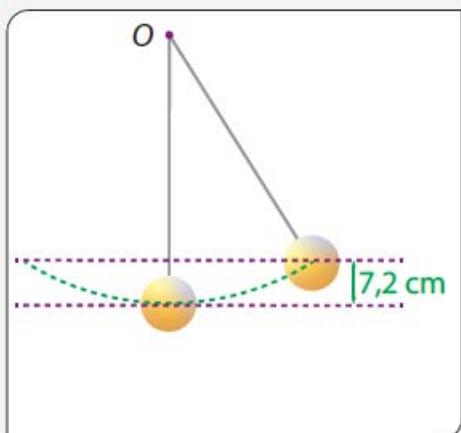
на  $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}$ . Када се ове две формуле међу-

собно поделе, добија се  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}}{2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}}$ . Скраћи-

вањем  $2\pi$  и  $g$  за однос периода осциловања се добија  $\frac{T_1}{T_2} = \frac{\sqrt{l_1}}{\sqrt{l_2}}$ , односно  $\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{2\text{ m}}{8\text{ m}}}$ . Тако

да је  $T_2 = 5,6\text{ s}$ . Може и без великог рачуна. Период зависи од квадратног корена дужине клатна. Ако се дужина повећа четири пута, период ће се повећати два пута, тако да ће период бити  $5,6\text{ s}$ .

17.



Куглица има максималну брзину када пролази кроз равнотежни положај, брзина је једнака нули у амплитудним положајима (крајњи леви и крајњи десни). Кад пролази кроз равнотежни положај располаже само кинетичком енергијом, а у амплитудним положајима само потенцијалном енергијом. На основу закона одржања енергије  $\frac{mv^2}{2} = mgh$ , добија се  $v^2 = 2gh = 1,44 \frac{m^2}{s^2}$ . Онда је брзина  $v = 1,2 \frac{m}{s}$ .

18. На основу закона о одржању енергије

$$\frac{mv^2}{2} = mgh, \text{ добија се}$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = 0,032 \text{ m} = 3,2 \text{ cm}.$$

19. Таласна дужина може ( $\lambda$ ) да се одреди као количник брзине ( $v$ ) простирања таласа и фреквенције ( $\nu$ ):  $\lambda = \frac{v}{\nu} = 0,25 \text{ m}$ .

20. Ако делић таласа посматрамо као честицу која осцилује онда је период осциловања честице  $T = 2 \text{ s}$ . Док честица изврши једну осцилацију, односно за време једног периода  $T$ , талас пређе растојање једнако таласној дужини  $\lambda$ . Таласна дужина  $\lambda = v \cdot T = 8 \text{ m}$ .

21. Растојање између два суседна берга таласа је једнако таласној дужини. Са друге стране је производ фреквенције и таласне дужине једнак брзини таласа  $v = \lambda \cdot \nu$ ,

$$\text{одакле је } \nu = \frac{v}{\lambda} \cdot \nu = \frac{\frac{3 \text{ m}}{s}}{0,5 \text{ m}} = 6 \frac{1}{s}.$$

Дакле фреквенција је  $\nu = 6 \text{ Hz}$ .

22. Брзина простирања таласа може да се одреди као производ таласне дужине и фреквенције таласа,  $v = \lambda \cdot \nu = 180 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

23. Потребно је да се брзина прво изрази у  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

$7200 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 2000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Пошто је брзина таласа једнака произвodu таласне дужине и фреквенције таласа, онда је таласна дужина  $\frac{v}{\nu} = 8 \text{ m}$ .

24. Таласна дужина је  $\lambda = \frac{v}{\nu} = 2 \text{ m}$ .

25. На основу формуле за таласну дужину  $\lambda = \frac{v}{\nu}$ , може да се напише  $\nu = \frac{v}{\lambda} = 140 \text{ Hz}$ .

26. За таласну дужину  $\lambda = 75 \text{ cm} = 0,75 \text{ m}$  и брзину  $v = 500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  фреквенција таласа је  $\nu = \frac{v}{\lambda} = 666,67 \text{ Hz}$ .

27. Брзина таласа је  $v = \lambda \cdot \nu = 0,1 \text{ m} \cdot 500 \text{ Hz}$ , односно  $v = 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Овом брзином талас прећи пут од 2000 метара за  $t = \frac{s}{v} = \frac{2000 \text{ m}}{50 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 40 \text{ s}$ .

28. Брзина таласа је  $v = \frac{\lambda}{T} = 1,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

29. Висина таласа је непотребан податак. Фреквенција не зависи од висине таласа. Користећи исту формулу као у претходном

$$\text{задатку добија се } \nu = \frac{18 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{50 \text{ m}} = 0,36 \frac{1}{\text{s}}.$$

Дакле фреквенција је  $\nu = 0,36 \text{ Hz}$ .

30. Таласна дужина  $\lambda = v \cdot T = 5 \text{ m}$ .

31. Брзина простирања таласа је  $v = \lambda \cdot \nu = 4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ .

32. Брзина таласа је  $v = \lambda_1 \cdot \nu_1 = 1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ . Пошто се

брзина таласа не мења, може да се напише  $v = \lambda_1 \cdot \nu_1$  и  $v = \lambda_2 \cdot \nu_2$  односно  $\lambda_1 \cdot \nu_1 = \lambda_2 \cdot \nu_2$ .

Пошто је  $\nu_2 = 2\nu_1$ , добија се да је  $\lambda_1 = \frac{\lambda_2}{2} = 2,5 \text{ cm}$ . Значи, ако се фреквенција повећа два пута, таласна дужина се смањи два пута.

33. Фреквенција звучне виљушке је

$$\nu = \frac{1}{T} = 20000 \text{ Hz} = 20 \text{ kHz}.$$

34. Таласна дужина инфразвука је

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{\frac{340 \text{ m}}{\text{s}}}{2 \text{ Hz}} = 170 \text{ m}.$$

35. Из формуле за брзину таласа, таласна дужина

$$\text{је } \lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{\frac{340 \text{ m}}{\text{s}}}{\frac{1}{1360 \text{ s}}} = 0,25 \text{ m}.$$

- 36.** Таласна дужина је  $\lambda = \frac{v}{f} = 0,23$  м.
- 37.** Пчела у једној секуди махне крилима 250 пута. За десет секунди то је 2 500 пута. Таласна дужина звучних таласа које производе крила пчеле је  $\lambda = \frac{v}{f} = 1,36$  м.
- 38.** Пошто је брзина светлости много већа од брзине звука можемо сматрати да се блесак муње простире тренутно. Тако да је удаљеност до места на коме је севнула муња  $s = v \cdot t = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 10 \text{ s} = 3\,400 \text{ m} = 3,4 \text{ km}$ .

**39.** Укупно растојање које пређе звучни сигнал је  $s = v \cdot t = 1800$  м. Звучни сигнал, који је емитован са брода, простире се до дна и враћа се назад до брода. То значи да он за 1,2 с два пута пређе растојање које је једнако дубини језера. Дубина језера је  $h = \frac{s}{2} = 900$  м.

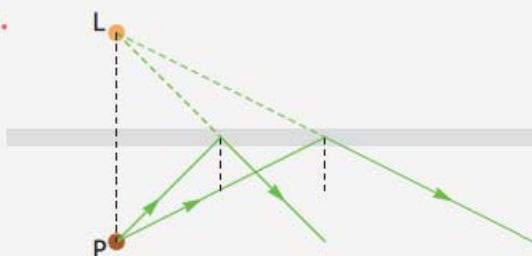
## СВЕТЛОСНЕ ПОЈАВЕ

### ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

- 1.** Месец одбија светлост која долази од Сунца, па зато светли.
- 2.** У оптички хомогеним срединама светлост се простире праволинијски.
- 3.** Сенка се јавља иза непровидног тела ако се оно нађе испред извора светлости који је много мањи од тела. Полусенка се јавља ако извор светлости није много мањи од тела.
- 4.** Може, ако има више извора светлости.
- 5.** Провидна тела немају сенку.
- 6.** Може, са више извора светлости. Покушајте овако: узмете један извор, видите где је сенка а где полусенка. Додате други, тако да осветљава што већи део сенке од првог, и тако док не остане само полусенка.
- 7.** Предмете видимо зато што одбијају део светлости која на њих пада.
- 8.** Светлост може да се одбије на граничној површи, или да се преломи у другу средину, а најчешће може и једно и друго.
- 9.** Колико год да је раван, зид нема равну површину, и како бела површина углавном одбија светлост, одбијање је дифузно, па није могуће видети лик.
- 10.** Код равног огледала сви упадни зраци који су били паралелни – остаће паралелни и после одбијања, а код дифузног неће.
- 11.** Пријатније је читање са храпаве хартије, јер је одбијање светлости дифузно. Код глатке хартије имамо утисак као да нам је извор светлости уперен у очи, што није пријатно.
- 12.** До преламања долази када светлост прелази из једне у другу оптичку средину у којима има различите брзине, при чему не пада нормално на граничну површ.
- 13.** Зраци се не преламају у два случаја. Када се одбију од граничне површи (тотална рефлексија), и када падају нормално на граничну површ.
- 14.** При преласку из оптички гушћу средину, долази до тоталне рефлексије, када је преломни угао већи или једнак граничном углу.
- 15.** Светлосни зрак који омогућава да дечак види лопту креће из лампе, одбија се од лопте и завршава у дечаковом оку.
- 16.** Тачкасти извори светлости су они чије су димензије занемарљиво мале.
- 17.** Одбојни угао мора да буде једнак упадном, а то је испуњено само код зрака бр. 3.
- 18.** Брзина светлости је највећа у вакууму.
- 19.** Брзина светлости у вакууму износи приближно 300.000.000 м/с.
- 20.** При преласку у оптички гушћу средину, зрак светлости се прелама ка нормали. Једини такав зрак је зрак број 3.
- 21.** Што је већи индекс преламања, брзина светлости је мања. То значи да је брзина највећа у трећој средини, а најмања у првој. Одговор под б).
- 22.** Зрак прелази у оптички гушћу средину, због тога скреће ка нормали на граничну површ, а то је једино случај са зраком бр. 4. Одговор под г).
- 23.** Зраци се од граничне површине одбијају назад у кабл захваљујући тоталној рефлексији. Одговор под а).

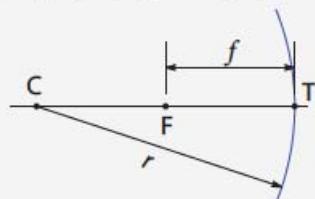
## РЕШЕЊЕ ЗАДАТКА

1.



Лик се формира у продужетку зракова.

2.



Жижна даљина је  $f = \frac{r}{2} = 5$  м.

3. На основу  $f = \frac{r}{2}$ , полупречник кривине је  $r = 2f = 8$  м.

4. Жижна даљина огледала је  $f = \frac{r}{2} = 3$  см. На основу једначине за издубљено сферно огледало  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$  за удаљеност лика од огледала добија се  $\frac{1}{\ell} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$ , односно

$\ell = 4,5$  см. Лик је реалан.

5. Удаљеност лика од огледала је  $\ell = 30$  см.

Увећање лика је  $u = \frac{\ell}{p} = 0,5$ .

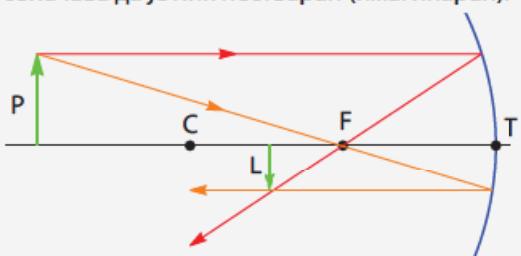
6. Удаљеност лика од огледала је  $\ell = 30$  см. Увећање сферних огледала се израчунава као количник величине лика и величине предмета, односно као количник удаљености лика и удаљености предмета од огледала  $u = \frac{\ell}{p} = \frac{\ell}{\ell}$ . Тако да је  $L = P \frac{\ell}{p} = 4$  см.

7. На основу једначине за издубљено сферно огледало  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$  за удаљеност предмета од огледала добија се  $\frac{1}{p} = \frac{1}{f} - \frac{1}{\ell}$ , односно  $p = 75$  см. Висина лика је  $P \frac{\ell}{p} = 30$  см.

8. Удаљеност лика од огледала је  $\ell = -60$  см.

Висина лика је  $L = P \frac{\ell}{p} = -12$  см. Знак минус (-) означава да је лик нестваран (имагинаран).

9.



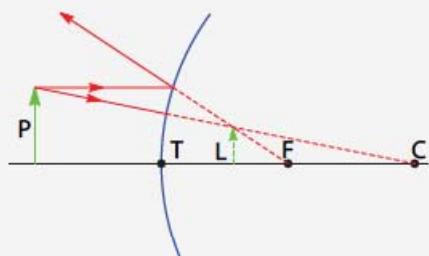
Лик је стваран, обрнут и умањен.

На основу  $\frac{1}{\ell} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f} - \frac{1}{3f}$ , добија се да је  $\ell = 1,5f$ , тако да је  $u = \frac{\ell}{p} = 0,5$ .

10. На основу једначине за испупчено сферно огледало  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\ell}$  за удаљеност лика од огледала добија се  $\frac{1}{\ell} = \frac{1}{f} + \frac{1}{p}$ , односно  $\ell = 11,25$  см.

11. Удаљеност лика од огледала је  $\ell = 9,6$  см.

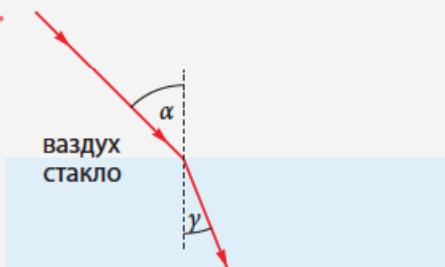
Увећање лика је  $u = \frac{\ell}{p} = 0,6$ .



Лик је нестваран, усправан и умањен.

12. На основу  $t = \frac{s}{c}$ , где је брзина светlosti  $c = 300.000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ , добија се да је време  $t = 1,28$  с.

13.



Пошто светлосни зрак прелази из оптички ређе у оптички гушћу средину  $\alpha > \beta$ .

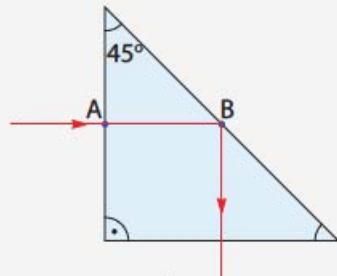
14.  $20^\circ; 60^\circ; 29^\circ, 25^\circ$ .

15. На основу приказаних путања зрака, може да се закључи да већи индекс преламања има оптичка средина A, зато што у тој средини долази до већег преламања, односно скрећања зрака ка нормали.

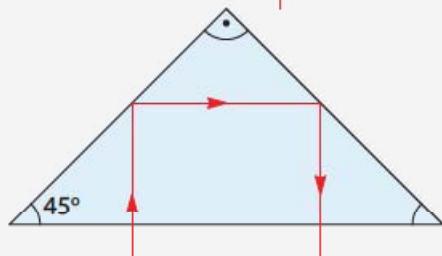
16. Апсолутни индекс преламања ( $n$ ) неке средине представља однос брзине светlosti у вакууму и у тој средини  $n = \frac{c}{c_1}$ , где је  $c$  брзина светlosti у вакууму и  $c_1$  брзина светlosti у тој средини. Тако да су брзине светlosti у води  $c_1 = \frac{c}{n_1} \approx 225\,564 \frac{\text{km}}{\text{s}}$  и у стаклу  $c_2 = \frac{c}{n_2} = 200\,000 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ .

17. 1) Зрак који пада нормално на граничну површину између две средине не прелама се;

**2 и 3)** Границни угао тоталне рефлексије за граничну површину  $42^\circ$ , пошто је упадни угао у тачки B,  $45^\circ$  већи од граничног угла тоталне рефлексије, зрак се одбија од ове граничне површине као од огледала. (4)



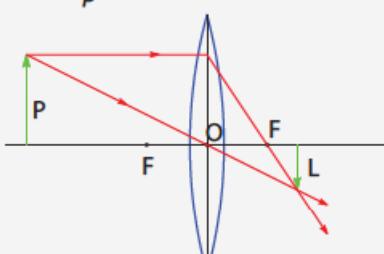
18.



**19.** На основу једначине за сабирна сочива  $\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{\ell}$  за удаљеност лика од сочива добија се  $\frac{1}{\ell} = \frac{1}{f} - \frac{1}{p}$ , односно  $\ell = 50$  см.

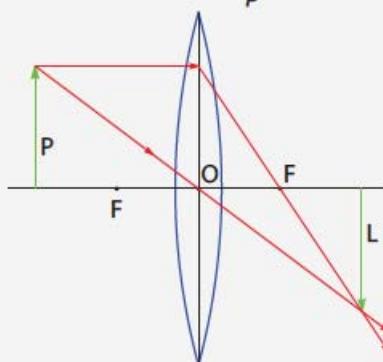
**Напомена:** Потребно је да приликом цртања процењујете и сразмерно цртате удаљеност предмета од сочива и жижну даљину. А на основу израчунате вредности и процењене удаљености лика од сочива покушајте да анализирате поступак и тачност решавања задатака. Пример: Приликом цртања слике за задатак 20 потребно је да уочите да је удаљеност предмета од сочива три пута већа од жижне даљине и да тако нацртате. На слици која је дата уз решење, то је узето у обзир. На основу слике можемо да проценимо да је удаљеност лика једнака једној и по жижној даљини, што се слаже са рачунски добијеном вредношћу. Исто разматрање спроведите и за увећање, односно висину лика у односу на висину предмета.

**20.** Удаљеност лика од сочива  $\ell = 18$  см. Увећање сочива се израчунава као количник удаљености лика и удаљености предмета од сочива  $u = \frac{\ell}{p} = 0,5$ .



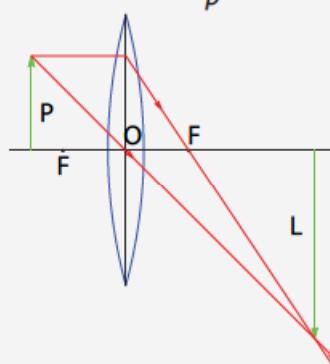
Лик је стваран, обрнут и умањен (двеструко мањи од предмета).

**21.** Удаљеност лика од огледала је  $\ell = 60$  см. Увећање лика је  $u = \frac{\ell}{p} = 1$ .



Лик је стваран, обрнут и једнак по величини са предметом.

**22.** Удаљеност лика од огледала је  $\ell = 150$  см. Увећање сочива се израчунава као количник величине лика и величине предмета, односно као количник удаљености лика и удаљености предмета од огледала  $u = \frac{L}{P} = \frac{\ell}{p}$ . Тако да је висина лика  $L = P \frac{\ell}{p} = 20$  см.



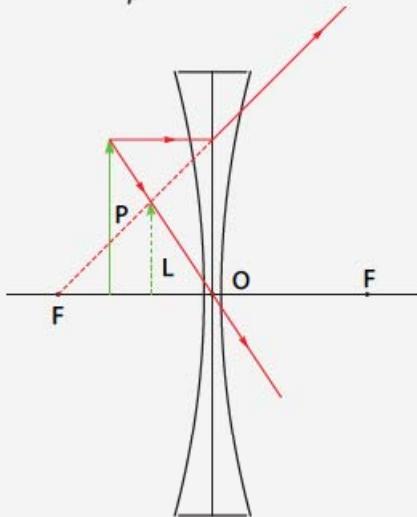
Лик је стваран, обрнут и увећан (двеструко већи од предмета).

**23.** Удаљеност лика од огледала је  $\ell = -12,5$  см. Висина лика је  $L = P \frac{\ell}{p} = -6,25$  см. Знак минус (-) означава да је лик нестваран (имагинаран). Лик се налази на истој страни на којој се налази и предмет.



Лик је нестваран, усправан и увећан.

- 24.** На основу једначине за расипно сочиво  $-\frac{1}{f} = \frac{1}{p} - \frac{1}{\ell}$  за удаљеност лика од огледала добија се  $\frac{1}{\ell} = \frac{1}{f} + \frac{1}{p}$ , односно  $\ell = 12$  см. Увећање лика је  $u = \frac{\ell}{p} = 0,6$ .



Лик је нестваран, усправан и умањен.

- 25.** Жижна даљина сочива је  $f = 40$  см; Висина лика је  $L = P \frac{\ell}{p} = 2$  см.

- 26.** Удаљеност лика од огледала је  $\ell = \frac{2}{39}$  м.  
Висина лика је  $L = P \frac{\ell}{p} \approx 0,045$  м = 4,5 см.

- 27.** На основу  $u = \frac{\ell}{p}$ , добија се  $\ell = up = 4p$ . Пошто је  $\ell + p = 50$  см, заменом удаљености лика добија се  $4p + p = 50$  см, односно  $p = 10$  см. Удаљеност лика је  $\ell = 4p = 40$  см. Жижна даљина је  $f = 8$  см.

- 28.** Удаљеност предмета је  $p = 18$  см. Удаљеност лика је  $\ell = 0,5p = 9$  см. Жижна даљина је  $f = 6$  см.

- 29.** Код расипног сочива су и предмет и лик са исте стране. Увећање је мање од 1, што значи да је лик ближи сочиву него предмет. Тада је  $p - \ell = 27$  см. Из увећања је  $\frac{\ell}{p} = 0,5$ , односно  $p = 2\ell$ . Онда је  $2\ell - \ell = \ell = 27$  см, док је  $p = 54$  см. Из једначине за расипно сочиво се добија да је жижна даљина  $f = 54$  см.

- 30.** Жижна даљина треба да буде изражена у метрима  $f = 20$  см = 0,2 м. Оптичка јачина је  $\omega = \frac{1}{f} = +5D$ .

- 31.** Жижна даљина је  $f = \frac{1}{\omega} = 0,04$  м = 4 см.

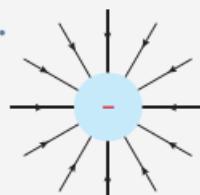
## ЕЛЕКТРИЧНО ПОЉЕ

### ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

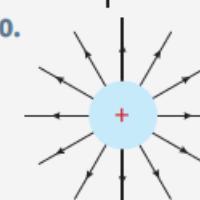
- Количина наелектрисања је физичка величина која показује колико је неко тело наелектрисано.
- Кулон (C).
- Када се два тела наелектрисана истим врстама наелектрисања нађу једно близу другог – она се одбијају.
- Када се два тела наелектрисана супротним (различитим) врстама наелектрисања нађу једно близу другог она се привлаче.
- Електроскоп је уређај којим може да се утврди да ли је неко тело наелектрисано. Састоји се од металне кугле на једном крају металног штапића, а на другом крају има танке металне листиће. Ако наелектрисано тело додирне куглу, листићи се размакну.
- Елементарно наелектрисање је наелектрисање електрона или протона.

7.  $-1,602 \cdot 10^{-19}$  C

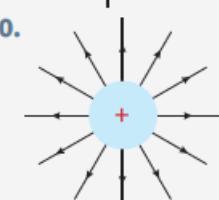
8. Интензитет електростатичке силе зависи од количине наелектрисања два тела која интегрују, и од растојања између њих.



9.



10.



11. Хомогено (електрично) поље је поље које има исту јачину у свакој тачки простора.

12. Рад је једнак производу количине наелектрисања тела и напона између почетне и крајње тачке путање тела.

13. Муња је електрично пражњење између два облака или облака и тла, а громљавина је звучни ефекат који прати муњу.



14. г) Пластични штап прима електроне од крзна.
15. б) Негативна наелектрисања прелазе са стаклене шипке на куглу.
16. а) Негативно наелектрисање на штапу ће деловати одбојно на негативна наелектрисања на лопти, па ће крај лопте до штапа остати позитивно наелектрисан.
17. г) На лопти ће остати негативно наелектрисање привучено позитивним са штапа, при додиру штапа негативно наелектрисање са кугле ће прећи на штап, а листићи ће остати позитивно наелектрисани.
18. в) Сила је сразмерна производу наелектрисања, а обрнуто сразмерна квадрату растојања. Највећа сила је за тела са највећим наелектрисањем на најмањем растојању.
19. г) Смањиће се девет пута.
20. б) Од њихових маса.
21. б) Поље изгледа исто као за позитивно наелектрисано тачкасто наелектрисање.
22. б)  $\frac{4}{25}$  од првобитног интензитета
23. а) волт
24. б)  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C (плус или минус)
25. б) –e
26. г) Приближно 1 000 000 кулона.  
Један молекул воде има 10 електрона (2 од водоника и 8 од кисеоника). У једном молу има Авогадров број молекула. Када се то помножи са елементарним наелектрисањем, добије се нешто мало мање од милион кулона ( $960\,000$  C).
27. б) Материјали који не проводе електричну струју.

## РЕШЕЊЕ ЗАДАТКА

- Количина наелектрисања једнака је производу броја електрона  $n = 3 \cdot 10^9$  и наелектрисања једног електрона (елементарно наелектрисање)  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C, тако да је  $q = n \cdot e = 4,8 \cdot 10^{-10}$  C = 0,48 nC.
  - На основу  $q = n \cdot e$ , број електрона је  $n = \frac{q}{e} = 5 \cdot 10^3$ .
  - У језгру се налазе позитивно наелектрисане честице, протони, и неутралне честице, неutronи. Наелектрисање језгра урана потиче од наелектрисања протона, тако да је  $q = ne = 92 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}$  C =  $147,2 \cdot 10^{-19}$  C.
  - Број електрона је  $n = \frac{q}{e} = 6,25 \cdot 10^{18}$ .
5. Према Кулоновом закону сила је сразмерна количинама наелектрисања, а обрнуто сразмерна квадрату међусобног растојања,  
 $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 27 \cdot 10^9$  N. Пошто су наелектрисања супротног знака, сила којом међусобно делују је привлачна.
6. Растојање између наелектрисања треба да буде изражено у метрима  $r = 30$  cm = 0,3 m.  
Сила је  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 1,5 \cdot 10^{12}$  N.  
Пошто су наелектрисања истог знака, сила којом међусобно делују је одбојна.
7. Сила је  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 2,88 \cdot 10^{-7}$  N.
8. Пошто су куглице наелектрисане истим количинама наелектрисања  $q_1 = q_2 = q$ , формулу за Кулонов закон можем да напишемо у облику  
 $F = k \frac{qq}{r^2} = k \frac{q^2}{r^2}$ . На основу Кулоновог закона, може да се одреди количина наелектрисања  $q^2 = \frac{Fr^2}{k}$ ,  $q = 5 \cdot 10^{-6}$  C.
9. Пошто је, према Кулоновом закону, сила обрнуто сразмерна квадрату растојања између наелектрисаних тела, ако се растојање повећа 2 пута сила се смањи 4 пута, а ако се растојање смањи 3 пута – сила ће се повећати 9 пута.
10. Пошто је, према Кулоновом закону, сила сразмерна производу количина наелектрисања, ако се наелектрисање једне куглице повећа 3 пута сила се такође повећава 3 пута. Пошто је, према Кулоновом закону, сила обрнуто сразмерна квадрату растојања између наелектрисаних тела, ако се растојање повећа 3 пута – сила ће се смањити 9 пута.
11. Пошто је  $q_1 = q_2 = e$ , сила узајамног деловања два електрона је  $F = k \frac{e^2}{r^2} = 23,04 \cdot 10^{-29}$  N. Сила узајамног деловања два електрона је одбојна.  
Електрон и протон су наелектрисани истим количинама наелектрисања (елементарно наелектрисање), али супротног знака (електрон – негативно, протон – позитивно). Зато сила којом узајамно делују електрон и протон има исти интензитет, као и сила међусобног деловања два електрона. Пошто су електрон и протон наелектрисани супротном врстом наелектрисања, сила којом узајамно делује је привлачна.

12. Електрично поље делује електричним силама на свако наелектрисано тело које се налази у њему. Јачина електричног поља у некој тачки је бројно једнака електричној сили која би деловала на јединично наелектрисање које би се налазило у тој тачки.

$$E = \frac{F}{q} = 25 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

13. Количина наелектрисања треба да буде изражено у кулонима  $q = 0,5 \text{ mC} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ . На основу формуле за јачину електричног поља  $E = \frac{F}{q}$ , добијамо да је сила

$$F = qE = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ N} = 1,5 \text{ mN}.$$

14. Јачина електричног поља је сразмерна количини наелектрисања која је извор поља, а обрнуто сразмерна квадрату растојања од извора поља до тачке за коју се одређује

$$\text{јачина поља. } E = k \frac{Q}{r^2} = 4,5 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{C}^2}$$

Електрично поље се графички приказује помоћу линија сила. Договором је утврђено да је смер линија сила код негативно наелектрисаног тела ка телу.

15. Растојање треба да буде изражено у метрима  $r = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ , а количина наелектрисања у кулонима  $q = 15 \mu\text{C} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ . Јачина електричног поља је  $E = k \frac{Q}{r^2} = 5,4 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}^2}$ .

Електрично поље се графички приказује помоћу линија сила. Договором је утврђено да је смер линија сила код позитивно наелектрисаног тела од тела.

16. Растојање треба да буде изражено у метрима  $r = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ . Пошто је количина наелектрисања протона  $Q = e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ , јачина електричног поља је  $E = k \frac{Q}{r^2} = k \frac{e}{r^2} = 9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{C}^2}$ .

17. Растојање треба да буде изражено у метрима  $r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$ , а количина наелектрисања у кулонима  $Q = 4 \mu\text{C} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  и  $q = -3 \mu\text{C} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ . Јачина електричног поља које ствара наелектрисање  $Q$  је  $E = k \frac{Q}{r^2} = 9 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{C}^2}$ . Ово електрично поље делује на наелектрисање  $q$  силом  $F = qE = 2,7 \text{ N}$ .

18. Напон између две тачке електричног поља представља разлику потенцијала тих тачака  $U = \varphi_1 - \varphi_2 = 10 \text{ V} - (-20 \text{ V}) = 30 \text{ V}$ .

19. Извршени рад је једнак промени енергије, у овом случају промени електростатичке потенцијалне енергије. Електростатичка потенцијална енергија у тачки  $B$  је  $E_{PB} = E_{PA} + 5 \text{ J} = 35 \text{ J}$ .

20. Напон (разлика потенцијала) између две тачке електричног поља једнак је количнику рада сile електростатичког поља при премештању наелектрисања из почетне у крајњу тачку и тог наелектрисања,  $U = \frac{A}{q} = 5 \text{ V}$ .

21. Извршени рад при премештању наелектрисања из једне у другу тачку електричног поља једнак је производу напона (разлике потенцијала) између те две тачке и количине наелектрисања која се премешта,  $A = q \cdot U = 12 \text{ J}$ .

22. Напон између тачака  $A$  и  $B$  је  $U = \varphi_2 - \varphi_1 = 9 \text{ V} - 3 \text{ V} = 6 \text{ V}$ . Извршени рад при премештању наелектрисања из једне у другу тачку је  $A = qU = 18 \text{ J}$ .

23. Напон (разлика потенцијала) између две тачке електричног поља је  $U = \frac{A}{q} = 4 \text{ V}$ . Приликом премештања количине наелектрисања  $q_1$  између ових тачака електричног поља, извршени рад је  $A_1 = q_1 U = 80 \text{ J}$ .

## ЕЛЕКТРИЧНА СТРУЈА

### ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

- Електрична струја је усмерено кретање наелектрисаних честица.
- Јачина електричне струје једнака је количнику количине наелектрисања које протекне кроз попречни пресек проводника и времена за које се то деси. Мерна јединица за јачину електричне струје је ампер (A).
- Мора да постоји напон на крајевима струјног проводника.

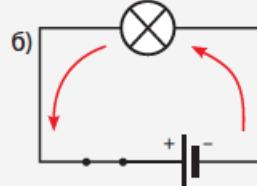
- Извори струје су уређаји који одржавају напон на крајевима проводника. Батерије, акумулатори, механички извори...
- Амперметар.
- Волтметар.
- Омметар.
- Специфична отпорност материјала је величина која показује колико добро неки материјал проводи електричну струју. Материјали који добро проводе имају малу специфичну отпорност. Лоши проводници имају велику специфичну отпорност.



- 9.** Напон између две тачке струјног кола једнак производу електричне отпорности и јачине струје која пролази кроз тај део кола.
- 10.** Снага електричне струје је количник рада који изврши електрична струја и времена за који се тај рад оствари.
- 11.** Када кроз проводник тече електрична струја, на њему се ослободи количина топлоте која је једнака производу квадрата електричне струје, отпора проводника и времена за које је струја протицала.
- 12.** Еквивалентна отпорност редно везаних отпорника једнака је збиру отпорности свих везаних отпорника.
- 13.** Реципрочна вредност еквивалентне отпорности паралелно везаних отпорника једнака је збиру реципрочных вредности отпорности свих везаних отпорника.
- 14.** Електролити су течности у којима има много позитивних и негативних јона.
- 15.** а) Кретање слободних електрона.  
Слободни електрон се крећу у свим правцима и кретање није усмерено (не постоји доминантни правац).
- 16.** г) Дрво (суво) није проводник.
- 17.** б) У волтима.
- 18.** а) извор једносмерне струје
- 19.** в) У физичком смеру.  
Електрони се крећу ка позитивном полу а то је физички смер струје.
- 20.** в) Да би сијалица засветлела електрично коло мора да буде затворено, а треће коло није.
- 21.** б) паралелно
- 22.** в) редно
- 23.** Да би се напон батерија сабрао, батерије треба да буду повезане редно, а то је приказано на сликама (в) и (г).
- 24.** б) Од јачине струје.
- 25.** г) стакло  
Осим стакла све су проводници, тако да стакло сигурно има највећу специфичну отпорност.
- 26.** г) Јачина струје која противе кроз отпорник се смањује.
- 27.** а) Извори су на свим сликама повезани редно, па се напони извора сабирају. У првобитном колу напон на сијалици је једнак напону који дају два извора. Исто ће светлети у колу у коме су четири извора и две сијалице, а то је коло 4)  
б) Најслабије ће светлети у колу у коме је најмање извора и највише сијалица (коло 2), а најјаче тамо где је највише извора а најмање сијалица (коло 3).
- 28.** У колу г).  
Према Омовом закону, напон је једнак производу јачине струје и отпорности. На последњој слици то није случај.
- 29.** б)  $P = UI$
- 30.** б) У киловат-часовима

## РЕШЕЊЕ ЗАДАТКА

- 1.** а) 1–извор електричне струје, 2–потреба (сијалица), 3–прекидач



- 2.** Јачина електричне струје бројно је једнака количини наелектрисања које протекне кроз попречни пресек проводника у јединици времена,  $I = \frac{q}{t} = 4 \text{ A}$ .
- 3.** Време треба да буде изражено у секундама  $t = 2 \text{ min} = 120 \text{ s}$ . Јачина електричне струје је  $I = \frac{q}{t} = 2 \text{ A}$ .
- 4.** Из дефиниције јачине струје добија се да је количина наелектрисања производ јачине струје и протеклог времена. Тако да за ово време протекне  $2 \text{ C}$ .
- 5.** За време  $t = 3 \text{ min} = 180 \text{ s}$ , на основу формуле за јачину електричне струје  $I = \frac{q}{t}$ , добија се да је  $q = It = 270 \text{ C}$ .
- 6.** За јачину електричне струје  $I = 50 \text{ mA} = 0,05 \text{ A}$ , количина наелектрисања која протекне кроз електричну сијалицу је  $q = It = 1,5 \text{ C}$ .
- 7.** На основу формуле за јачину електричне струје  $I = \frac{q}{t}$ , добија се да је време трајање електричног пражњења  $t = \frac{q}{I} = \frac{q}{I} = 0,002 \text{ s} = 2 \text{ ms}$ .
- 8.** За време  $t = 750 \text{ ms} = 0,75 \text{ s}$ , јачина електричне струје је  $I = \frac{q}{t} = 200 \text{ A}$ .

9. Количина наелектрисања која протекне кроз попречни пресек проводника у свакој секунди је  $q = It = 3,2 \text{ C}$ . На основу  $q = ne$ , број електрона је  $n = \frac{q}{e} = 2 \cdot 10^{19}$ .

10. За површину попречног пресека  $S = 0,05 \text{ mm}^2 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ , електрична отпорност проводника сразмерна је  $R = \rho \frac{\ell}{S} = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m} \frac{5\text{m}}{5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2} = 1,7 \Omega$ .

11. За површину попречног пресека  $S = 0,001 \text{ mm}^2 = 0,1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$  и дужину проводника  $\ell = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$ , електрична отпорност влакна сијалице је  $R = \rho \frac{\ell}{S} = 2,8 \Omega$ .

12. Полупречник жице је  $r = \frac{d}{2} = 0,5 \text{ mm}$ , а површина попречног пресека жица  $S = r^2\pi = 0,785 \text{ mm}^2 = 78,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ . Електрична отпорност алуминијумске жице је  $R = \rho \frac{\ell}{S} \approx 0,178 \Omega = 178 \text{ m}\Omega$ .

13. Полупречник жице је  $r = \frac{d}{2} = 0,25 \text{ mm}$ , површина попречног пресека жица  $S = r^2\pi = 0,196 \text{ mm}^2 = 19,6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$ , а дужина жице  $\ell = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$ . Електрична отпорност сребрне жице је  $R = \rho \frac{\ell}{S} \approx 0,04 \Omega$ .

14. За површину попречног пресека,  $S = 1 \text{ mm}^2 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ , на основу формуле за електричну отпорност проводника  $R = \rho \frac{\ell}{S}$ , дужина проводника је  $\ell = \frac{RS}{\rho} = 2000 \text{ m} = 2 \text{ km}$ .

15. На основу формуле за електричну отпорност проводника  $R = \rho \frac{\ell}{S}$  и формуле за површину круга  $S = r^2\pi$ , добија се да је  $r = 0,52 \text{ mm}$ .

16. Најбољи – сребро; најлошији – олово

17. а) Дужи проводник има већу отпорност.  
б) Већу отпорност има проводник са мањом површином попречног пресека.  
в) Мању отпорност има проводник са мањом специфичном отпорношћу.

18. Електрична отпорност је сразмерна дужини проводника. Пошто је у другом случају проводник 5 пута дужи, то значи да је његова отпорност 5 пута већа од проводника дужине 1 m. Значи  $R_2 = 5R_1 = 2,5 \Omega$ .

19. Површине попречног пресека су  $S_1 = r_1^2\pi$  и  $S_2 = \left(\frac{r_1}{2}\right)^2\pi = \frac{r_1^2}{4}\pi = \frac{S_1}{4}$ . На основу отпорности проводника  $R_1 = \rho \frac{\ell}{S_1}$  и  $R_2 = \rho \frac{\ell}{S_2}$ , добија

$$\text{се } \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho \frac{\ell}{S_2}}{\rho \frac{\ell}{S_1}} = \frac{S_1}{S_2} = \frac{S_1}{\frac{S_1}{4}} = \frac{4S_1}{S_1} = 4. \text{ Отпорност тање бакарне жице је } R_2 = 4R_1 = 2 \Omega.$$

20. На основу дужина проводника  $\ell_1 = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$  и  $\ell_2 = 3,6 \text{ m}$ , може да се закључи да је други проводник 9 пута дужи,  $\frac{\ell_2}{\ell_1} = 9$ . На основу тога можемо да закључимо да други проводник има 9 пута већу отпорност од првог.

21. Пошто је први проводник 2 пута тањи, његова отпорност је 4 пута већа од отпорности другог проводника.

22. Електрична отпорност проводника сразмерна је његовој специфичној отпорности. На основу отпорности проводника  $R_1 = \rho_B \frac{\ell}{S_1}$  и  $R_2 = \rho_A \frac{\ell}{S_2}$ , добија се  $\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_A \frac{\ell}{S}}{\rho_B \frac{\ell}{S}} = \frac{\rho_A}{\rho_B} = \frac{2,8 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}}{1,7 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}} \approx 1,65$ . Проводник од бакра има отпорност која је мања приближно 1,65 пута од отпорности проводника од алуминијума.

23. На основу Омовог закона за део струјног кола,  $I = \frac{U}{R} = 3 \text{ A}$ .

$$24. I = \frac{U}{R} = 0,3 \text{ A}.$$

25. На основу  $I = \frac{U}{R}$ , добијамо да је  $R = \frac{U}{I} = 40 \Omega$ .

26. Напон на отпорнику је једнак производу јачине струје и отпорности, односно 15 V.

$$27. R = \frac{U}{I} = 240 \Omega$$

28. На основу  $I = \frac{U}{R}$ , добијамо да је  $U = IR = 6 \text{ V}$ .

$$29. U = IR = 12 \text{ V}$$

30. Отпорност влакна сијалице је  $R = \frac{U}{I} = 4 \Omega$ .

$$\text{На основу } R = \rho \frac{\ell}{S}, \text{ добијамо да је } \ell = \frac{RS}{\rho} = 3,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,5 \text{ cm}.$$

**31.** На основу I Кирхофовог правила знамо да је збир јачина електричних струја које утичу у један чвор електричног кола једнак збиру електричних струја које из њега истичу. Са слике се види да у чвор утичу електричне струје  $I_1$  и  $I_2$ , а из чвора истиче електрична струја  $I_3$ . Тако да на основу I Кирхофовог правила можемо да напишемо  $I_1 + I_2 = I_3$ . Јачина електричне струје  $I_2 = I_3 - I_1 = 2,2 \text{ A}$ .

**32.** Са слике се види да у чвор утиче електрична струја  $I_2$ , а из чвора истичу електричне струје  $I_1$  и  $I_3$ . Збир јачина електричних струја које истичу из чвора  $I_2 + I_3 = 6,7 \text{ A}$  је већи од јачине електричне струје  $I_2 = 3 \text{ A}$  која утиче у чвор. На основу тога можемо да закључимо да електрична струја  $I_4$  утиче у чвор (има смер ка чвиру). На основу I Кирхофовог правила можемо да напишемо  $I_1 + I_3 = I_2 + I_4$ . Јачина електричне струје  $I_4 = I_1 + I_3 - I_2 = 3,7 \text{ A}$ .

- 33.** a)  $I_3 = 2,5 \text{ A}$ , смер ка чвиру;  
b)  $I_1 = 0,5 \text{ A}$ , смер од чвора.

**34. Редна веза:** Еквивалентна (укупна) отпорност редно везаних отпорника једнака је збиру њихових отпорности:  $R_e = R_1 + R_2 = 3 \Omega + 6 \Omega = 9 \Omega$ .

**Паралелна веза:** Реципрочна вредност еквивалентне (укупне) отпорности паралелне везе отпорника једнака је збиру реципрочных вредности поједињих отпорности,  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ . Заменом вредно-

сти  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega}$  и сабирањем разломака  $\frac{1}{R_e} = \frac{2}{6\Omega} + \frac{1}{6\Omega}$  добија се  $\frac{1}{R_e} = \frac{3}{6\Omega}$ , односно  $R_e = \frac{6\Omega}{3} = 2\Omega$ .

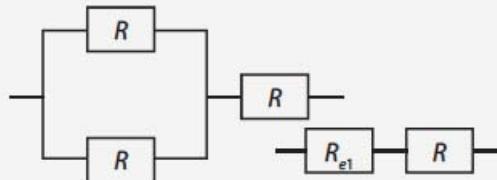
**35.** a) Отпорници су повезани редно, тако да је  $R_e = R + R + R = 54 \Omega$ .

b) Отпорници су повезани паралелно, тако да је  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}$ , односно  $R_e = \frac{R}{3} = 6\Omega$ .

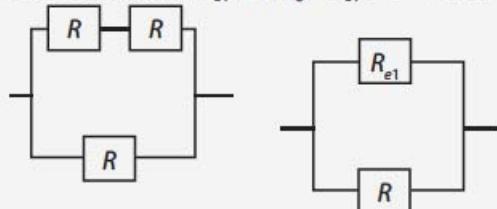
b) Два отпорника су везана паралелно. Трећи отпорник је везан редно за паралелну везу прва два. Прво треба да одредимо укупну отпорност паралелно везаних отпорника,

$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R}, \text{ односно, } R_{e1} = \frac{R}{2} = 9\Omega.$$

**Напомена:** У струјном колу ништа се не би променило ако би уместо та два отпорника ставили један чија би отпорност била једнака њиховој еквивалентној отпорности.



Потом одређујемо укупну отпорност редне везе отпорника  $R_{e1}$  и  $R$ ,  $R_e = R_{e1} + R = 27\Omega$ .



г) Два отпорника су везана редно, трећи отпорник је везан паралелно са њима. Прво треба да одредимо укупну отпорност редно везаних отпорника  $R_{e1} = R + R = 36 \Omega$ .

Потом одређујемо укупну отпорност паралелне везе отпорника  $R_{e1}$  и  $R$ ,  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{e1}} + \frac{1}{R} = \frac{1}{36\Omega} + \frac{1}{R} = \frac{3}{36\Omega}$ , односно  $R_e = \frac{36\Omega}{3} = 12\Omega$ .

**36.** 18Ω; 2Ω; 9Ω; 4Ω. Поступак исти као и код претходног задатка.

**37.** Отпорници  $R_1 = 8\Omega$  и  $R_2 = 24\Omega$  везани су паралелно. Укупна отпорност ове паралелне везе је  $\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{4}{24\Omega}$ , односно,  $R_{e1} = \frac{24\Omega}{4} = 6\Omega$ .

Отпорници  $R_{e1}$  и  $R_3 = 12\Omega$  везани су редно. Укупна отпорност ове редне везе је  $R_e = R_{e1} + R_3 = 18\Omega$ .

**38.** По два отпорника од по  $4\Omega$  везана су паралелно. Укупна отпорност прве паралелне везе је  $\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{4\Omega}$ , односно,

$R_{e1} = \frac{4\Omega}{2} = 2\Omega$ . Укупна отпорност друге паралелне везе једнака је укупној отпорности прве паралелне везе  $R_{e1} = R_{e2}$ . Отпорници  $R_{e1}$  и  $R_{e2}$  везани су редно. Укупна отпорност ове редне везе је  $R_e = R_{e1} + R_{e2} = 4\Omega$ .

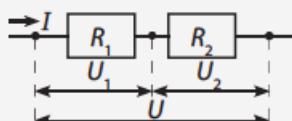
**39.** На основу формуле за укупну отпорност два паралелно везана отпорника  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ , добијамо да је  $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_e} - \frac{1}{R_1} = \frac{1}{20\Omega}$ , односно,  $R_2 = 20\Omega$ .

**40.** Отпорници  $R_2, R_3$  и  $R_4$  међусобно су повезани редно, а са отпорником  $R_1$  паралелно. Укупна отпорност редне везе  $R_{e1} = R_2 + R_3 + R_4 = 90\Omega$ . Укупна отпорност између тачака  $A$  и  $B$  је  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_{e1}} + \frac{1}{R_1} = \frac{10}{90\Omega}$ , односно,  $R_e = \frac{90\Omega}{10} = 9\Omega$ .

**41.** Отпорници  $R_3$  и  $R_4$  су повезани редно. Укупна отпорност ове редне везе  $R_{e1} = R_3 + R_4 = 30 \Omega$ . Отпорници  $R_3$  и  $R_4$  су повезани паралелно са отпорником  $R_2$ . Укупна отпорност ове паралелне везе је  $\frac{1}{R_{e2}} = \frac{1}{R_{e1}} + \frac{1}{R_2} = \frac{3}{60\Omega}$ , односно  $R_{e2} = \frac{60\Omega}{3} = 20\Omega$ . Овако повезани отпорници  $R_2, R_3$  и  $R_4$  повезани су редно са отпорником  $R_1$ . Тако да је укупна отпорност овако повезаних отпорника  $R_e = R_{e2} + R_1 = 120 \Omega$ .

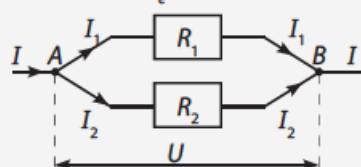
**42.** Кроз редно везане отпорнике тече струја исте јачине. У овом случају кроз сваки отпорник протиче електрична струја јачине 0,5 A.

**43.** Укупна отпорност је  $R_e = R_1 + R_2 = 8 \Omega$ . Јачина електричне струје која протиче кроз отпорнике је  $I = \frac{U}{R_e} = 1,5 \text{ A}$ . Напон на отпорнику једнак је производу јачине електричне струје која протиче кроз њега и његове отпорности. Тако да је  $U_1 = IR_1 = 3 \text{ V}$ , а  $U_2 = IR_2 = 9 \text{ V}$ . Обратите пажњу да је  $U = U_1 + U_2$ .



**44.**  $R_e = 12 \Omega; I = 0,5 \text{ A}; U_1 = 1 \text{ V}; U_2 = 2 \text{ V}; U_3 = 3 \text{ V}$ . Потупак исти као и код претходног задатка.

**45.** Укупна отпорност је  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{4}{6\Omega}$ , односно  $R_e = \frac{6\Omega}{4} = 1,5\Omega$ . Јачина електричне струје је  $I = \frac{U}{R_e} = 8 \text{ A}$ .



Јачине електричних струја које протичу кроз паралелно везане отпорнике нису једнаке, док је напон на свим паралелно везаним отпорницима једнак.

Јачина електричне струје која протиче кроз отпорник  $R_1$  је  $I_1 = \frac{U}{R_1} = 6 \text{ A}$ , а кроз отпорник  $R_2$ ,  $I_2 = \frac{U}{R_2} = 2 \text{ A}$ .

У колу са слике струја се грана у тачки  $B$ , а сакупља у тачки  $C$ . Обратите пажњу да за свако гранање односно сакупљање електричне струје важи I Кирхофово правило, односно  $I = I_1 + I_2$ .

**46.**  $R_e = 1,2 \Omega; I = 5 \text{ A}; I_1 = 3 \text{ A}; I_2 = 1,5 \text{ A}; I_3 = 0,5 \text{ A}$ . Потупак исти као и код претходног задатка.

**47.** Отпорници  $R_2$  и  $R_3$  везани су паралелно. Укупна отпорност ове паралелне везе је  $\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{6}{300\Omega}$ , односно  $R_{e1} = \frac{300\Omega}{6} = 50\Omega$ . Овако повезани отпорници  $R_2$  и  $R_3$  повезани су редно са отпорником  $R_1$ . Тако да је укупна отпорност овако повезаних отпорника  $R_e = R_{e1} + R_1 = 100 \Omega$ . Јачина електричне струје  $I = \frac{U}{R_e} = 6 \text{ A}$ . На основу слике можемо да се закључимо да је  $I = I_A = I_B = I_E = 6 \text{ A}$ .

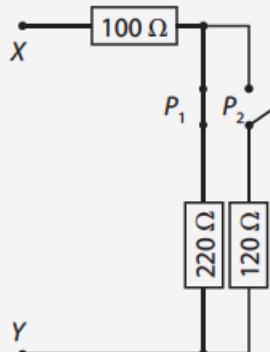
Напон на отпорнику  $R_1$  је  $U_1 = I \cdot R_1 = 300 \text{ V}$ , а напон на отпорницима  $R_2$  и  $R_3$  је:  $U_2 = U - U_1 = 300 \text{ V}$ .

Јачина електричне струје која протиче кроз отпорник  $R_1$  је  $I_c = \frac{U_2}{R_2} = 1 \text{ A}$ , а кроз отпорник  $R_2$ ,  $I_b = \frac{U_2}{R_3} = 5 \text{ A}$ .

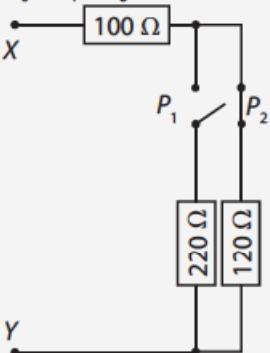
Обратите пажњу да за свако гранање односно сакупљање електричне струје важи I Кирхофово правило, односно  $I_A = I_B = I_c + I_D = I_E$ .

**48.** а) Кад су оба прекидача отворена кроз овај део струјног кола не протиче електрична струја, па нема ни отпорности.

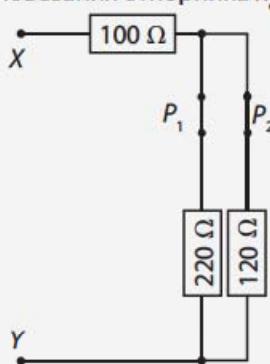
б) Електрична струја протиче кроз отпорнике  $R_1$  и  $R_2$ , нема гранања. Укупна отпорност је  $R_e = R_1 + R_2 = 320 \Omega$ .



в) Електрична струја протиче кроз отпорнике  $R_1$  и  $R_3$ , нема гранања. Укупна отпорност је  $R_e = R_1 + R_3 = 220 \Omega$ .



г) Отпорници  $R_2$  и  $R_3$  везани су паралелно. Укупна отпорност ове паралелне везе је  $\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{340}{26\,400\Omega}$ , односно,  $R_{e1} = \frac{2\,640\Omega}{34} = 77,65\Omega$ . Овако повезани отпорници  $R_2$  и  $R_3$  повезани су редно са отпорником  $R_1$ . Тако да је укупна отпорност овако повезаних отпорника  $R_e = R_{e1} + R_1 = 177,65\Omega$ .



49. а) Када је прекидач отворен струја протиче кроз отпорнике  $R_2$  и  $R_3$ , који су везани редно. Укупна отпорност је  $R_e = R_2 + R_3 = 30\Omega$ . Јачина електричне струје која протиче кроз отпорнике  $R_2$  и  $R_3$  је  $I = \frac{U}{R_e} = 0,4\text{ A}$ . Напон на отпорнику  $R_3$  је  $U_3 = IR_3 = 7,2\text{ V}$ . То је вредност напона коју показује волтметар.

б) Када је прекидач затворен, струја протиче кроз све отпорнике. Отпорници  $R_1$  и  $R_2$  везани су паралелно. Укупна отпорност ове паралелне везе је  $\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{2}{12\Omega}$ , односно  $R_{e1} = \frac{12\Omega}{2} = 6\Omega$ . Овако повезани отпорници  $R_1$  и  $R_2$  повезани су редно са отпорником  $R_3$ . Тако да је укупна отпорност овако повезаних отпорника  $R_e = R_{e1} + R_3 = 24\Omega$ . Јачина електричне струје  $I = \frac{U}{R_e} = 0,5\text{ A}$ . Напон на отпорнику  $R_3$  је  $U_3 = IR_3 = 9\text{ V}$ . То је вредност напона коју показује волтметар.

50. Отпорници су везани редно, па је еквивалентна отпорност једнака збире њихових отпорности,  $12\Omega$ . Јачина струје у овом колу, па самим тим и она која протиче кроз батерију, јесте количник напона (електромоторне силе) и укупног отпора, а то је  $2\text{ A}$ .

51.  $0,5\text{ A}$

52. Отпорност је количник напона (електромоторне силе) и јачине струје,  $48\Omega$ .

53. Укупна отпорност је једнака збире отпорности два опорника,  $30\Omega$ . Онда је укупан пад напона једнак произведу јачине струје и укупне отпорности,  $6\text{ V}$ .

54. Пад напон на сваком од два отпорника је једнак напону извора. Па је онда струја која протиче кроз дати отпорник  $3\text{ A}$ .

55. Електромоторна сила извора је једнака произведу јачине струје и отпорности првог отпорника,  $18\text{ V}$ . Када се то искористи за друго коло, добије се да је јачина струје једнака  $0,5\text{ A}$ .

56. Јачина електричне струје у затвореном струјном колу сразмерна је електромоторној сили извора, а обрнуто сразмерна збире спољашње и унутрашње отпорности струјног кола,  $I = \frac{\varepsilon}{R+r} = 1,2\text{ A}$ .

57. а) Отпорници су везани редно. Укупна отпорност је  $R_e = R + R = 20\Omega$ . Јачина електричне струје је  $I = \frac{\varepsilon}{R_e+r} = 0,125\text{ A}$ .

б) Отпорници су везани паралелно. Укупна отпорност је  $\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{10\Omega}$ , односно  $R_e = \frac{10\Omega}{2} = 5\Omega$ . Јачина електричне струје је  $I = \frac{\varepsilon}{R_e+r} \approx 0,33\text{ A}$ .

58. На основу  $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ , добијамо да је  $I(R+r) = \varepsilon$ , односно  $IR + Ir = \varepsilon$ . Пошто је напон на потрошачу  $U = IR$ , тада је  $U + Ir = \varepsilon$ , односно  $U = \varepsilon - Ir = 8\text{ V}$ .

59. Јачина електричне струје је  $I = \frac{\varepsilon}{R+r} = 2\text{ A}$ . На основу  $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ , добијамо да је  $I(R+r) = \varepsilon$ , односно  $IR + Ir = \varepsilon$ . Пошто је напон на потрошачу  $U = IR$ , тада је  $U + Ir = \varepsilon$ , односно  $U = \varepsilon - Ir = 5\text{ V}$  или  $U = IR = 5\text{ V}$ .

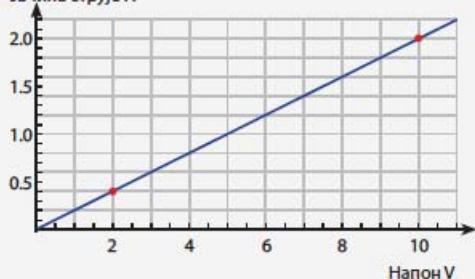
60.  $\varepsilon = I(R+r)$ . Пад напона на отпорнику је  $U = IR$ . Тако да је јачина струје  $I = \frac{U}{R}$ . Онда је  $\varepsilon = U + \frac{U}{R} \cdot r$ ;  $r = (\varepsilon - U) \cdot \frac{R}{U}$ , односно  $r = 0,5\Omega$ .

61. Једноставније решење је да се за сваки пар података нађе пад напона, па се на крају нађе средња вредност.

Отпорност [Ω]	Јачина струје [A]	Напон [V]
2,5	12,2	30,5
5,1	6,0	30,6
10,3	2,9	29,87
14,9	2,0	29,8

Средња вредност напона је  $30,19\text{ V}$ .

62. Јачина струје A



Изаберите две тачке са праве, што даље да буду једна од друге и забележите им координате. Нека те две тачке буду (10 V, 2,0 A) и (2 V, 0,4 A). Коефицијент правца праве је  $k = \frac{2A - 0,4A}{10V - 2V} = \frac{1,6A}{8V}$ , односно  $k = 0,2 \frac{A}{V}$ . Из омовог закона је  $I = \frac{U}{R}$ , односно  $I = \frac{1}{R} \cdot U$ . Коефицијент правца праве са графика је реципрочна вредност отпорности, па је отпорност  $R = \frac{1}{k} = 5\Omega$ .

63. Укупна електромоторна сила редно везаних извора је једнака збиру појединачних електромоторних сила, али само ако су извори повезани тако да је негативни пол једног извора везан за позитивни другог, и тако даље. Електромоторна сила извора који није повезан на описан начин одузима се.

а)  $EMS = 1,5V + 1,5V = 3V$ ; б)  $EMS = 1,5V - 1,5V = 0V$ ; в)  $EMS = 1,5V + 1,5V + 1,5V - 1,5V = 3V$ .

64. Пошто је укупан напон који даје акумулатор 24 V, а свака ћелија ствара напон од 2 V, акумулатор има укупно  $n = \frac{24V}{2V} = 12$  ћелија.

65. Потребно је  $n = \frac{9V}{1,5V} = 6$  извора.

66. а)



$$EMS = 1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,5V = 7,5V$$

$$\text{или } EMS = 5 \cdot 1,5V = 7,5V$$

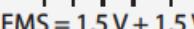
б)



$$EMS = 1,5V + 1,5V + 1,5V - 1,5V - 1,5V = 1,5V$$

$$\text{или } EMS = 3 \cdot 1,5V - 2 \cdot 1,5 = 1,5V$$

в)



$$EMS = 1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,5V - 1,5V = 4,5V$$

$$\text{или } EMS = 4 \cdot 1,5V - 1 \cdot 1,5 = 4,5V$$

**Напомена:** У случају (б) на слици је приказана само једна од могућности. Свака комбинација у којој је 3 извора имају исти пол са исте стране, а преостали извори су везани супротно томе, даље укупан напон од 1,5 V. Слично у случају (в), било која комбинација у којој је само један извор обрнуто везан од осталих, даље тражени напон.

67. Отпорници су везани редно. Укупна отпорност је  $R_e = R_1 + R_2 = 40\Omega$ . Јачина електричне струје је  $I = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{R_e} = 0,1A$ .

68. Укупна електромоторна сила је  $EMS = 1,5V + 1,5V = 3V$ . Пошто су извори електричне струје повезани редно и њихове унутрашње отпорности су повезане редно, тако да је укупна унутрашња отпорност  $r_e = r + r = 0,4\Omega$ . Јачина електричне струје је  $I = \frac{\epsilon}{R + r_e} = 1,25A$ .

69. Укупна електромоторна сила је  $EMS = 1,5V + 1,5V + 1,5V + 1,5V = 6V$ . Укупна унутрашња отпорност  $r_e = r + r + r + r = 0,4\Omega$ .

$$\text{Јачина електричне струје је } I = \frac{\epsilon}{R + r_e} = 2,5A.$$

70. Време треба да буде изражено у секундама  $t = 1\text{ min.} = 60\text{ s}$ .

Рад електричне струје у неком делу струјног кола једнак је производу јачине електричне струје, напона на крајевима тог дела кола и времена током кога струја пролази. Рад који изврши електрична струја је  $A = UIt = 1.440\text{ J}$ .

71. Количина наелектрисања која протекне кроз потрошач је  $q = It = 400\text{ C}$ . Напон на потрошачу је  $U = \frac{A}{q} = 1V$ .

72. За време  $t = 1\text{ h} = 3600\text{ s}$ , потрошена електрична енергија једнака раду који изврши електрична струја  $E = A = UIt = 864\ 000\text{ J} = 864\text{ kJ}$ .

73. За време  $t = 300\text{ s}$  и јачину електричне струје  $I = 0,03\text{ A}$ , укупна енергија је  $E = A = UIt = 8,1\text{ J}$ .

74. На основу  $U = \frac{A}{q}$ , добијамо да је  $E = A = qU = 30\text{ J}$ .

75. Снага је бројно једнака извршеном раду у јединици времена  $P = \frac{A}{t}$ . Рад је једнак производу снаге и времена  $A = Pt$ . Пошто је утрошена електрична енергија једнака раду који изврши електрична струја, добијамо да је  $E = A = Pt = 0,45\text{ kWh}$ . Пре замене вредности снагу изразити у kW,  $P = 150\text{ W} = 0,15\text{ kW}$ .

76.  $P = U \cdot I$ . Ако се јачина струје изрази преко напона и отпорности:  $P = \frac{U^2}{R}$ , односно 3 W.

77. Електрична енергија коју потроши електрични грејач у току 24 часа је  $E = A = Pt = 1,5\text{ kW} \cdot 24\text{ h} = 36\text{ kWh}$ . Пошто 1 kWh кошта 5 динара за 36 kWh треба платити  $36 \cdot 5 = 180$  динара.

78.  $1\text{ kWh} = 1\ 000\text{ W} \cdot 3\ 600\text{ s} = 3\ 600\ 000\text{ Ws} = 3\ 600\ 000\text{ J} = 3,6\text{ MJ}$

79. Снага електричне струје једнака је производу електричног напона и јачине електричне струје,  $P = UI = 1\ 980\text{ W}$ .

80. Напон треба да буде изражен у волтима  $U = 25 \text{ kV} = 25 000 \text{ V}$ , а јачина електричне струје у амперима  $I = 40 \text{ kA} = 40 000 \text{ A}$ . Максимална снага електричне централе је  $P = UI = 1 000 000 000 \text{ W} = 1 \text{ GW}$ .

81. Кроз тостер протиче електрична струја јачине  $I = \frac{U}{R}$ , па је снага тостера  $P = UI = \frac{U^2}{R} = 1 210 \text{ W} = 1,21 \text{ kW}$ .

82. Када су отпорници везани редно, кроз њих протиче електрична струја исте јачине. Напони на крајевима отпорника су  $U_1 = IR_1$  и  $U_2 = IR_2$ , па је снага  $P_1 = U_1 I = I^2 R_1 = 0,4 \text{ W}$ , односно,  $P_2 = U_2 I = I^2 R_2 = 1,6 \text{ W}$ .

83. а)  $220 \text{ V}$  – напон на који може да се укључи и  $60 \text{ W}$  – снага;

б) На основу  $P = UI$ , добијамо да је  $I = \frac{P}{U} = 0,27 \text{ A}$ .

в) На основу  $P = \frac{U^2}{R}$ , добијамо да је  $R = \frac{U^2}{P} \approx 806,7 \Omega$ .

84. Снага треба да буде изражена у ватима  $P = 20 \text{ MW} = 2 \cdot 10^7 \text{ W}$ , а напон у волтима  $U = 200 \text{ kV} = 2 \cdot 10^5 \text{ V}$ . Јачина електричне струје је  $I = \frac{P}{U} = 10^2 \text{ A} = 100 \text{ A}$ . Пошто је електрична отпорност проводника  $0,2 \text{ k}\Omega$  по километру, укупна отпорност проводника дужине  $15 \text{ km}$  је  $R = 15 \text{ km} \cdot 0,2 \frac{\text{k}\Omega}{\text{km}} = 3 \text{ k}\Omega = 3000 \Omega$ . Снага која се губи на проводницима приликом преноса је  $P = I^2 R = 30 000 000 \text{ W} = 30 \text{ MW}$ .

85. Јачина електричне струје у мрежи када се укључи електрична грејалица је  $I = \frac{P}{U} \approx 6,82 \text{ A}$ . Пошто је јачина електричне струје у мрежи мања од јачине електричне струје коју осигурач може да издржи грејалица може да се укључи.

86. Време треба да буде изражено у секундама  $t = 30 \text{ min.} = 1800 \text{ s}$ . Количина топлоте која се ослобађа у потрошачу, једнака је раду који изврши електрична струја,  $Q = A = UIt = 64 800 \text{ J} = 64,8 \text{ kJ}$ .

87. Време треба да буде изражено у секундама  $t = 10 \text{ min.} = 600 \text{ s}$ .

Количина топлоте ослобођена у проводнику при протицању електричне струје једнака је производу квадрата јачине електричне струје, отпора проводника и времена про-тицања,  $Q = I^2 Rt = 150 000 \text{ J} = 150 \text{ kJ}$ .

88. Време треба да буде изражено у секундама  $t = 5 \text{ min.} = 300 \text{ s}$ , количина топлоте у үулима  $Q = 360 \text{ kJ} = 360 000 \text{ J}$ .

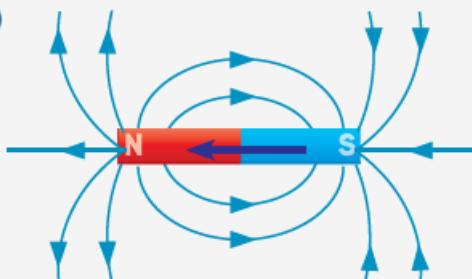
Кроз грејач електричне грејалице протиче електрична струја јачине  $I = \frac{U}{R}$ , па је количи-на топлоте која се ослободи  $Q = I^2 Rt = \frac{U^2}{R} t$ . Електрична отпорност је  $R = \frac{U^2}{Q} t \approx 40,3 \Omega$ .

## МАГНЕТНО ПОЉЕ

### ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

- Магнети су материјали који имају магнетна својства. Могу бити стални и привремени.
- Сваки магнет има два пола, северни (N) и јужни (S).
- Два магнета могу да се привлаче или одбијају. Ако су им супротни полови близки – привлачије се, ако су исти полови близки – одбијаје се.
- Мерна јединица за магнетну индукцију је ћесла (T).

5. а)

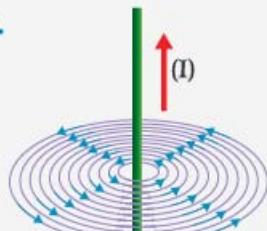


б)



- 6.** Компас има намагнетисану иглу која се у магнетном пољу Земље okreће док не заузме положај дуж правца север–југ.

**7.**

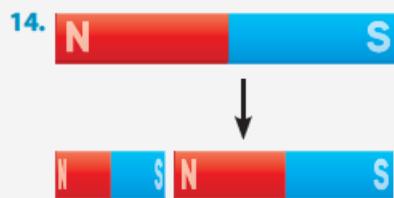


- 8.** Скоро исто као и поље шипкастог магнета.
- 9.** Електромагнет је калем намотан на ваљак од меког гвожђа.
- 10.** Делује сила која зависи од магнетне индукције, јачине струје и дужине проводника у магнетном пољу.
- 11.** Зависи од смерова струја у два проводника.

- 12.** Тачан одговор је а).

Магнети се највише привлаче када су им супротни полови близу. У случају када су магнети паралелни и супротно оријентисани, привлачење је најјаче.

- 13.** Погледајте слику линија сила шипкастог магнета. Магнетно поље је најјаче близу полова, што је ближе полу то је јаче, тако да је у тачки 3, најјаче.



- 15.** б) налево

Магнетно поље између два супротна пола различитих магнета је скоро хомогено, па је усмерено ка северном полу (може се приказати хоризонталном стрелицом која пролази

кроз тачку А, и усмерена је ка северном полу магнета).

- 16.** Магнетно поље је најјаче тамо где су линије најгушће (4).

- 17.** б) Само када се крећу.

- 18.** в) Струја ствара магнетно поље око жице и делује на иглу.

- 19.** в)

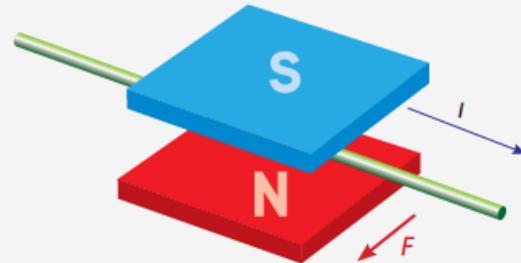
Смер магнетног поља се одређује правилом десне рuke. Замислимо да десном шаком обухватимо проводник и да палац показује смер струје, онда прсти показују смер магнетног поља. То значи да десно од проводника линије силе магнетног поља увиру у раван папира (круг са знаком X унутра), а лево од њега излазе из папира (круг са тачком у центру).

- 20.** в)

На једном крају соленоида линије силе магнетног поља увиру у језгро, а на другом извиру из језгра. Када погледате магнетно поље кружног прстена, и примените правило десне рuke, добијате да линије силе увиру у онај крај соленоида који је повезан за негативним полом извора.

- 21.** в) Гушће намотавање жице око језгра.

- 22.** Треба применити правило леве рuke:



- 23.** а) Привлаче се.



# ЕЛЕМЕНТИ АТОМСКЕ И НУКЛЕАРНЕ ФИЗИКЕ

## ПРОВЕРИ ЗНАЊЕ

1. Атоми се сastoјe од језгра и електрона. Језгро чине нуклеони, протони и неутрони.
2. Скоро цела маса атoma је сконцентрисана у језгру.
3. Атомски (редни) број је једнак броју протона у језгру, а масени број је једнак броју нуклеона (збир броја протона и броја неутрона) у језгру.
4. Електрони су негативно наелектрисани, протони позитивно, а неутрони су електронеутрални.
5. Изотопи неког елемента се разликују само по броју неутрона у језгру.
6. Деутеријум (водоник-2) и трицијум (водоник-3).
7. Јонизација је процес у коме се од неутралних атома стварају јони (откидањем електрона или захватањем додатних електрона).
8. Радиоактивни распад је процес у коме се нестабилно језgro распада, тако што емитује радиоактивно зрачење.
9. Радиоактивно зрачење може бити алфа (језgra хелијума), бета (електрони) и гама зрачење (фотони).
10. Најпродорније је гама зрачење. Оно није најопасније, најопасније је алфа зрачење зато што јонизује средину кроз коју се простире.
11. Период полураспада је време за које се половина броја радиоактивног елемента распадне.
12.  $+2e, -e, 0$ .
13. Нуклеарна (јака) сила држи језgro (нуклеоне) на окупу.
14. Фисија је распад неких тешких језгара на два дела, а фузија је спајање (најчешће два) језгра у веће и теже језgro.
15. г) Од протона и неутрона.
16. в) Много мања од масе протона.
17. б) 0 e.
18. а) По броју електрона.
19. а) Број електрона и протона не може бити исти.
20. б) По броју неутрона.
21. 143 (Масени број – редни број).
22. в) а
23. в) језgro хелијума

24. в) електрон
25. а)  $^{82}_{210}\text{Pb}$ 

Зато што се масени број после емитовања алфа честице смањи за 4 а редни за 2.
26. б) 25% (половина од половине)
27. в) После 5.600 година узорак ће садржавати само пет грама угљеника-14.
28. б) 9,5 h

Распало се  $\frac{3}{4}$  узорка, то значи да је не распаднула  $\frac{1}{4}$  узорка, а то ће бити ситуација после времена од 2 времена полураспада. Ако је двоструко време 19 h, онда је време полураспада 9,5 h.
29. г) Зато што нема довољно језгра с којима неутрони могу да се сударе.
30. в) нуклеарна сила
31. а) 1,5 g

Један дан траје 24 сата што износи четири времена полураспада. После 6 h, биће  $\frac{1}{2}$  атома нераспаднуто, после 12 h,  $\frac{1}{4}$ , после 18 h,  $\frac{1}{8}$ , и коначно после 24 h,  $\frac{1}{16}$ . Дакле, после једног дана ће остати  $\frac{24g}{16} = 1,5$  g.
32. г)  $\frac{15}{16}$ 

Као у претходном задатку, после четири времена полураспада, остаје  $1/16$  броја атома нераспаднуто, то значи да се распало  $15/16$  броја атома.
33. в) електрон

Из једначине се види да атомски број X мора да буде једнак нули. Атомски број је једнак збиру бројева протона и неутрона, ако је једнак нули онда X не може бити ни протон ни неутрон. Једино што преостаје је електрон. Ова једначина представља бета распад. Један неутрон у језгру угљеника се распада на протон и електрон. Добија се језgro са истим атомским бројем и редним бројем за један већим, а то је управо језgro азота. X је дакле настали електрон.
34. г) протон

Настаје честица редног броја 1 и масеног броја 1, а то је протон (језgro водоника).
35. а) радиоактивни распад уранијума
36. в) У средишту звезда.



# ПОЈМОВНИК

## A

**Акустика** је област физике у оквиру које се проучавају звучне појаве.

**Амперметар** је уређај за мерење јачине струје.

**Амплитуда** је највеће растојање тела које осцилује од свог равнотежног положаја.

**Амплитуда таласа** је највећа висина брега таласа у односу на равнотежни положај.

**Амплитудни положај** је положај осцилатора у ком је тренутна брзина тела једнака нули.

**Атомски број** означава број протона у атомском језгру.

**Атомско језгро** је средишњи део атома који се састоји од протона и неутрона.

## B

**Боја тона** је својство тона које зависи од тога колике су амплитуде осцилација на основној фреквенцији звука и хармоницима.

**Брзина звука** је брзина звучног таласа.

**Брзина осциловања** је тренутна брзина кретања честице око равнотежног положаја.

**Брзина светlosti** у вакууму је највећа позната брзина у природи (приближно 300 000 километара у секунди).

**Брзина таласа** означава брзину којом честице средине преносе осцилације.

## B

**Висина тона** је фреквенција тона.

**Волтметар** је уређај за мерење напона.

**Време полураспада изотопа** је време потребно да се распадне половина његових језгара у узорку.

## G

**Главна оптичка оса** је права линија која пролази кроз центар кривине и теме огледала, односно кроз центре сферне површи сочива.

## D

**Дифузно одбијање** је појава где се сноп паралелних зрака одбија од равне површи у различitim правцима.

## E

**Еквивалентна отпорност** је укупна вредност отпора редно или паралелно везаних отпорника.

**Електрична енергија** је способност електричне струје да врши рад.

**Електрична отпорност** је својство материјала од ког зависи колико проводи електричну струју.

**Електрична струја** је усмерено кретање наелектрисаних честица.

**Електрични напон** једнак је количнику рада сile електричног поља и количине наелектрисања.

**Електрично поље** је својство простора око наелектрисаног тела које одређује деловање наелектрисања на тела у било којој тачки тог простора.

**Електрично пражњење** је појава преласка вишке електрона на тело где има више позитивних наелектрисања.

**Електроде** су наелектрисане металне плочице према којима се крећу носиоци наелектрисања.

**Електролити** су течности кроз које може да тече струја захваљујући кретању позитивних и негативних јона.

**Електромагнет** је калем намотан на шипку од „меког“ гвожђа.

**Електрометар** је уређај којим можемо да утврдимо количину наелектрисања тела.

**Електромоторна сила** једнака је количнику рада и количине наелектрисања које се премести са једног на други пол извора.

**Електронеутрална тела** су тела која се састоје од истог броја позитивних и негативних честица.

**Електронски омотач** је део атома у ком се налазе његови електрони.

**Електростатичка индукција** је појава раздвајања наелектрисања неутралног тела.

**Електростатичка потенцијална енергија** је енергија коју наелектрисано тело има када се нађе у електричном пољу.

**Електростатичка сила** је сила која се јавља између наелектрисаних тела.

**Електротехника** је научна област која истражује могуће примене открића из електромагнетизма у технички и технологији.

**Елементарно наелектрисање** је најмање познато наелектрисање. Оно одговара наелектрисању једног протона или једног електрона.

**Елонгација** је растојање између тела и равнотежног положаја у одређеном тренутку.

**Ерстедов експеримент** је оглед којим показујемо да електрична струја ствара магнетно поље.

## X

**Жижка** је тачка у којој се секу преломљени или одбијени зраци упадног снопа зрака паралелних са оптичком осом сочива, односно огледала.

**Жижна даљина** је даљина жиже од центра сочива, односно темена огледала.

## Z

**Звук** је назив за осцилације притиска у одређеној средини, најчешће ваздуху.

## I

**Извори струје** су уређаји који одржавају напон на крајевима проводника.

**Изолатори** су материјали који не проводе електричну струју.

**Изотоп** је нестандардна варијанта атома која у језгру има другачији број неутрона.

**Имагинаран лик** је нестваран лик који се налази у продужетку одбијених или преломљених зрака.

## J

**Јачина електричне струје** је физичка величина којом описујемо колико наелектрисања противе кроз попречни пресек проводника у јединици времена.

**Јачина електричног поља** једнака је сили којом би електростатичка сила деловала на јединично наелектрисање.

**Јачина звука** је својство звука које зависи од амплитуде звучног таласа.

**Јон** је наелектрисана честица која настаје тако што атом или молекул прими или отпушти електроне.

**Јонизација** је процес настајања јона од атома или молекула.

## K

**Калем (соленоид)** је елемент струјног кола који добијамо када проводну жицу намотамо око предмета облика ваљка.

**Клатно** је систем који се састоји од тела и неистегљиве нити, који слободно осцилује.

**Количина наелектрисања** је физичка величина која показује колико је неко тело наелектрисано.

**Кратак спој** настаје када полove извора спојимо проводником са јаким отпором.

## L

**Ланчана реакција** је реакција код које продукти једне реакције изазивају нове реакције исте врсте.

**Лик** је слика предмета у огледалу.

**Линије сила електричног поља** представљају графички приказ електричног поља.

**Линије сила магнетног поља (силнице)** су линије којима графички приказујемо магнетно поље.

**Лонгитудинални талас** је талас код ког честице осцилују дуж правца простирања таласа.

## M

**Магнетизам** је својство неких материјала да привлаче гвоздене предмете у својој околини.

**Магнетни дипол** је својство магнета да увек има два раздвојена пола, северни и јужни.

**Магнетно поље** је својство простора које одређује како магнети делују на друге магнете у било којој тачки тог простора.

**Масени број** означава укупан број протона и неутрона у атомском језгру.

**Математичко клатно** је идеализована верзија клатна које има неистегљиву нит занемарљиве масе и тело занемарљивих димензија.

**Механички талас** представља преношење осцилација кроз неку средину.

## H

**Наелектрисање** је физичко својство материје које узрокује појаву електростатичке сile. Оно може бити позитивно или негативно.

**Намагнетисавање** је процес током ког предмети добијају магнетна својства и постају магнети.

**Неутрон** је ненаелектрисана елементарна честица у саставу атомског језгра.

**Носиоци наелектрисања** су све покретљиве наелектрисане честице.

**Нуклеарна физија** је процес цепања тешког атомског језгра под дејством честица које га погађају.

**Нуклеарна фузија** је процес у којем се два лакша атомска језгра или више њих спаја у једно теже језгро.

**Нуклеон** је честица (протон или неутрон) у саставу атомског језгра, тј. нуклеуса.

## O

**Огледалско одбијање** је појава где се спон паралелних зрака одбија од равне површи тако да су и одбојни зраци међусобно паралелни.

**Одбијање светlosti** (рефлексија) је појава одбијања дела светлосног зрака од граничне површи.

**Одбојни угао** је угао између одбојног зрака и нормале приликом одбијања светlosti.

**Оптика** је област физике у оквиру које се проучавају светлосне појаве.

**Оптичка јачина** сочива је реципрочна вредност жижне даљине.

**Оптичка средина** представља тело или простор кроз који светлост може да прође.

**Осцилатор** је назив за тело које осцилује.

**Осцилаторно кретање** је периодично кретање тела око равнотежног положаја.

**Осцилација** је периодична промена неке физичке величине.

**Отпорник** је елемент електричног кола чије је најважније својство његова електрична отпорност.

## P

**Паралелна веза** је један од два могућа начина везивања два елемената у електричном колу, где се у некој грани струјног кола елементи везују један паралелно са другим.

**Период кретања** је минимално време после ког се периодично кретање понавља.

**Период осциловања** је време за које тело направи једну осцилацију.

**Периодично кретање** је кретање које се понавља на исти начин у једнаким временским размацима.

**Полови извора** су електроде извора струје. Анода је позитиван пол, а катода – негативан пол.

**Правило десне шаке** је једноставан начин за одређивање смера вектора магнетне индукције која се јавља у околини линијског проводника кроз који тече електрична струја.

**Правило леве шаке** је једноставан начин за одређивање смера сile којом магнетно поље делује на проводник кроз који протиче електрична струја.

**Преламање светlosti** (рефракција) је појава скретања светлосног зрака при преласку из једне у другу средину различитих оптичких густина.

**Привремени магнети** су магнети који имају магнетна својства само док на њих делују други магнети.

**Пригушене осцилације** јесу оне код којих се амплитуда осцилација смањује током времена.

**Принудне осцилације** су осцилације код којих спољашња сила повећава или смањује енергију осцилатора.

**Природна радиоактивност** представља зрачење које је последица постојања радиоактивних елемената у Земљиној кори, атмосferи, свемиру или самом људском телу.

**Проводници** су материјали који проводе електричну струју.

**Протон** је позитивно наелектрисана елементарна честица у саставу атомског језгра.

## P

**Равнотежни положај** је положај у ком се тело које осцилује коначно зауставља.

**Радиоактивни распад** је процес спонтаног распада атомског језгра.

**Реалан лик** је стварни лик који се налази у пресеку одбијених или преломљених зрака.

**Редна веза** је један од два могућа начина везивања два елемената у електричном колу где се у некој грани струјног кола елементи везују један за други.

**Резонантна фреквенција** је фреквенција принудне сile на којој осцилатор осцилује са највећом амплитудом.

**Резонанција** је појава у којој фреквенција принудне сile постане врло блиска или једнака фреквенцији осцилатора.

**Реостат** је отпорник код ког електрична отпорност може да се подешава.

## C

**Светлосна година** је растојање које светлост у вакууму пређе за једну годину, што је приближно 9,5 билиона километара.

**Светлосни зрак** је идеализовани графички приказ кретања светlosti.

**Светлосни извори** су тела која еmitују светlost.

**Слободне осцилације** су осцилације при којима се амплитуда не мења током времена.

**Специфична отпорност** материјала је величина која показује колико добро неки материјал проводи електричну струју.

**Стални магнети** су магнети који дуго задржавају магнетна својства.

**Струјно коло** је затворена контура сачињена од проводника. У сваком струјном колу морају се налазити извор струје, проводник и потрошач.

**Сферна огледала** су крива огледала облика dela сфере.

## T

**Таласна дужина** је растојање између две најближе честице средине које осцилују на исти начин.

**Тачкаста наелектрисања** су наелектрисана тела чија је свака димензија (дужина, ширина и висина) много мања од растојања између тела.

**Тачкасти извор** светlosti је извор чија је величина много мања од величине предмета који осветљава или се налази на великој удаљености од предмета.

**Технички смер** електричне струје је од позитивног ка негативном полу.

**Тотална рефлексија** је појава код које нема преломљеног зрака већ се светлосни зрак у потпуности одбија од граничне површи.

**Трансверзални талас** је талас код ког честице осцилују нормално на правац простирања таласа.

## Y

**Увећање** сочива или огледала је однос величине лица и предмета.

**Упадни угао** је угао између упадног зрака и нормале приликом одбијања светlosti.

## Φ

**Физички смер** електричне струје је од негативног ка позитивном полу.

**Фреквенција** представља број осцилација у једној секунди.

**Фреквенција таласа** је фреквенција којом осцилују честице таласа.

## X

**Хомогено електрично поље** је поље које има исту јачину у свим тачкама простора.

## Ч

**Чвр струјног кола** је тачка у којој се електрична струја грана и сабира.