Др Душанка Ж. Обадовић, Ивана Ранчић

Практикум једноставних експеримената у настави физике

Факултет:_____

Студијски програм и модул:_____

Студент:_____
(презиме, средње слово и име)

Број индекса:_____

Нови Сад
2012.

Предговор

Практикум једноставних експеримената у настави физике намењен је студентима Природно-математичког факултета у Новом Саду, студијски програм Професор физике. Основна карактеристика *једноставних експеримената* је да се могу реализовати помоћу материјала који се налазе свуд око нас, односно они не захтевају скупу апаратуру. У зависности од нивоа ученичког знања и избора експеримента, поред демонстрације одређене физичке појаве, ови експерименти могу представљати и тест спремности ученика да на бази познавања физичких феномена и одређеног математичког апарата, дубље образложе релативно једноставно демонстриране појаве.

Међутим, једноставне експерименте не треба користити само за демонстрацију одређених физичких појава. Један експеримент, или комбинација више оваквих експеримената којима се демонстрира иста физичка појава, ако се час добро структуира и осмисли, омогућује увођење научног метода у редовну наставу. Ако се наставник придржава основних елемената који карактеришу научна истраживања: хипотеза, експеримент, приказ резултата, закључак и кључне речи, онда једноставни експеримент постаје незаменљив на свим нивоима образовања, зато што је његово извођење доступно свим ученицима. Сваки ученик може на простом примеру не да само упозна, демонстрира и представи неку физичку појаву, него и усвоји концепт научног мишљења и анализе ситуације на најједноставнији могући начин.

У практикуму је извршен је приказ 65 једноставних експеримената груписаних по областима: вода и ваздух, кретање, течности, топлота, светлост, звук, електрицитет и струје и магнети. Један део ових експеримената студенти треба да ураде код куће и демонстрирају их у термину вежби, а други у терминима предвиђеним за експерименталне вежбе.

Нови Сад *др Душанка Обадовић, ред. проф.*
Октобар 2012. године

Садржај

Предговор 1
Садржај 2
1. УВОД 5
1.1. Шта су то једноставни експерименти типа „Уради сам“? 6
2. ВОДА И ВАЗДУХ 8
2.1. Теоријски подсетник 8
2.1.1. Притисак гаса 8
2.1.2. Атмосферски притисак 8
2.1.3. Магла 9
2.1.4. Облаци 10
2.1.5. Ветар 12
2.1.6. Оптичке појаве у атмосфери 12
2.1.6.1. Боја неба 13
2.1.6.2. Дуга 14
2.2. Једноставни експерименти 15
2.2.1. УСИСАЈ ЈАЈЕ У БОЦУ 15
2.2.2. НАПРАВИ СВОЈ БАРОМЕТАР 16
2.2.3. НАПРАВИ МАГЛУ 17
2.2.4. ОБЛАК У БОЦИ 18
2.2.5. ТОРНАДО У КРЧАГУ 19
2.2.6. ЕКСПЕРИМЕНТ ПЛАВОГ НЕБА 20
2.2.7. НАПРАВИ ДУГУ 21
3. КРЕТАЊЕ 22
3.1. Теоријски подсетник 22
3.1.1. Механичко кретање 22
3.1.1. Равномерно праволинијско кретање 22
3.1.2. Убрзано праволинијско кретање 23
3.1.3. Кружно кретање 23
3.1.4. Кретање под дејством Земљине теже 25
3.1.5. Њутнови закони 25
3.1.6. Закони одржања 26
3.1.6.1. Закон одржања енергије 27
3.1.6.2. Закон одржања импулса 27
3.1.7. Осцилаторно кретање 27
3.2. Једноставни експерименти 28
3.2.1. СЛОБОДАН ПАД – БЕСТЕЖИНСКО СТАЊЕ 28
3.2.2. СЛОБОДАН ПАД ПОВЕЗАНИХ НОВЧИЋА 29
3.2.3. ЧИЈЕ ЈЕ ВРЕМЕ СПУШТАЊА КРАЋЕ? 31
3.2.4. КОЈА ЋЕ ЛОПТА ОДСКОЧИТИ ВИШЕ? 33
3.2.5. КОЈИ НОВЧИЋ СКОЧИ ВИШЕ? 35
3.2.6. БРЖЕ ОД СЛОБОДНОГ ПАДА? 36
3.2.7. ТРКА КОНЗЕРВИ (КО ЈЕ БРЖИ СУПА ИЛИ ГРАШАК?) 38
3.2.8. КАКО РАДИ КЛИК – КЛАК 40
4. ТЕЧНОСТИ 41

4.1. Теоријски подсетник 41
4.1.1. Течности 41
4.1.2. Густина 41
4.1.3. Архимедов закон 41
4.1.4. Плута, тоне, лебди 42
4.2. Једноставни експерименти 43
4.2.1. ЛИМУН КАО ПОДМОРНИЦА 43
4.2.2. КАРТЕЗИЈАНСКИ ГЊУРАЦ 44
4.2.3. ПИНГ ПОНГ ЛОПТИЦА У ЛЕВКУ 45
4.2.4. КАДА ВОДА НАЈБРЖЕ ИСТИЧЕ? 46
4.2.5. КУДА ИДЕ ПЛУТАНИ ЧЕП? 47
5. ТОПЛОТА 50
5.1. Теоријски подсетник 50
5.1.1. Температура и топлота 50
5.1.2. Топлотни капацитети 50
5.1.3. Преношење топлоте 51
5.1.4. Термичко ширење 52
5.2. Једноставни експерименти 53
5.2.1. КАКО СЕ ЛЕД ТОПИ? 53
5.2.2. ПРОВОЂЕЊЕ ТОПЛОТЕ КРОЗ ВОДУ 55
5.2.3. НИКАД ВИШЕ РУПЕ ОД ПАЉЕЊА! 56
5.2.4. ЛЕБДЕЋИ ПЛАМЕН 57
5.2.5. ИЗДУЖЕЊЕ ЖИЦЕ 58
5.2.6. ЗАШТО НОВЧИЋ ПАДА? 59
5.2.7. СКАКУТАВЕ ВОДЕНЕ КАПЉИЦЕ 60
5.2.8. ЖИЦА КОЈА „СЕЧЕ“ ЛЕД! 61
5.2.9. ЛЕТЕЋА САЛВЕТА 63
5.2.10. ВОДА КЉУЧА ИСПОД 100 °C 64
5.2.11. МОТОР СА УНУТРАШЊИМ САГОРЕВАЊЕМ 65
6. ЗВУК 66
6.1. Теоријски подсетник 66
6.1.1. Простирање таласа у еластичној средини 66
6.1.2. Карактеристике таласа 66
6.1.3. Звук 67
6.2. Једноставни експерименти 71
6.2.1. ОДАКЛЕ ЗВУК ДОЛАЗИ? 71
6.2.2. МУЗИКАЛНА СВЕЋА! 73
6.2.3. ДУВАЊЕ И ЛУПАЊЕ У БОЦУ! 74
6.2.4. ЗАШТО ЗВИЖДИ ВЕТАР? 75
6.2.5. ОТВОРЕНА И ЗАТВОРЕНА ПИШТАЉКА 77
6.2.6. ВИЉУШКА ЗА ШТИМОВАЊЕ - СИРЕНА 79
6.2.7. ИНТЕРФЕРЕНЦИЈА ЗВУЧНИХ ТАЛАСА 81
6.2.8. ВИШИ ХАРМОНИЦИ У ЦЕВИ 83
6.2.9. ДОПЛЕРОВ ЕФЕКАТ ПОМОЋУ ЗВУЧНЕ ВИЉУШКЕ 85
7. СВЕТЛОСТ 86
7.1. Теоријски подсетник 86

7.1.1. Светлост ... 86
7.1.2. Геометријска оптика. ... 87
7.1.3. Закон одбијања (рефлексије) светлости ... 87
7.1.4. Закон преламања (рефракције) светлости ... 89
7.2. Једноставни експерименти ... 92
7.2.1. НЕСТАЛИ НОВЧИЋ ... 92
7.2.2. ДУПЛИ ПРСТИ ... 93
7.2.3. СВЕЋА КОЈА ГОРИ У ЧАШИ ВОДЕ ... 94
7.2.4. ГДЕ СЕ НАЛАЗИ СЛИКА (ЛИК) У ОГЛЕДАЛУ ... 95
7.2.5. ПАМЕТНО ОГЛЕДАЛО ... 96
7.2.6. КАШИКА КАО ОГЛЕДАЛО ... 97
7.2.7. ИНСТАНТ НАОЧАРЕ ЗА КРАТКОВИДЕ ... 99
7.2.8. НА БОЈУ “ОСЕТЉИВО” СОЧИВО ... 101
7.2.9. КАКО МОЖЕШ "ОДУВАТИ" СВЕТЛОСТ ... 102
8. ЕЛЕКТРИЦИТЕТ И СТРУЈЕ ... 104
8.1. Теоријски подсетник ... 104
8.1.1. Наелектрисање ... 104
8.1.2. Кулонова сила и електрично поље ... 104
8.1.3. Електрична струја ... 107
8.2. Једноставни експерименти ... 109
8.2.1. УЧИНИ ДА ТИ КОСА СТОЈИ УСПРАВНО ... 109
8.2.2. ЕЛЕКТРОСКОП У ТЕГЛИ МЕДА ... 110
8.2.3. ОДВАЈАЊЕ СОЛИ ОД БИБЕРА ... 111
8.2.4. КАКО САВИТИ МЛАЗ ВОДЕ? ... 112
8.2.5. ИГРАЈУЋИ ПАПИРИЋИ ... 113
8.2.6. МОДЕЛ ФРЕНКЛИНОВОГ „ГРОМОБРАНА“ ... 114
8.2.7. СИМУЛАЦИЈА НЕПОГОДЕ ... 116
8.2.8. МЕХУРИ САПУНИЦЕ У ЕЛЕКТРИЧНОМ ПОЉУ ... 119
8.2.9. ЛИМУН КАО БАТЕРИЈА ... 120
8.2.10. МИНА ОД ОЛОВКЕ КАО ПОТЕНЦИОМЕТАР ... 122
9. МАГНЕТИ ... 123
9.1. Теоријски подсетник ... 123
9.1.1. Магнетизам ... 123
9.2. Једноставни експерименти ... 125
9.2.1. МАГНЕТНИ РАДИЈАТОРИ ... 125
9.2.2. ЈЕДНОСТАВНИ КОМПАС ... 126
9.2.3. МАГНЕТ ИЛИ ГВОЖЂЕ? ... 127
9.2.4. ПРИКАЗ ЛИНИЈА СИЛА МАГНЕТНОГ ПОЉА! ... 128
9.2.5. КИРИЈЕВА ТЕМПЕРАТУРА ГВОЖЂА ... 129
9.2.6. ЗАУСТАВЉЕНО ПАДАЊЕ ... 130
9.2.7. МАГНЕТНИ ТОП ... 131
ЛИТЕРАТУРА ... 134

1. УВОД

Убрзан напредак науке и технике, који у савременом друштву изазива потпуно различите, често противречне и непредвидиве последице, представља природан оквир одрастања младих генерација. Прве су позитивне, као на пример побољшање услова живота, стандарда, повећање независности човека у односу на природу, повећање нивоа образованости... Друге су негативне, као што су еколошка криза, криза идентитета личности... Високе технологије захтевају нов образовни систем, чији циљ није само стицање перманентног знања, него и на који начин стицати знање током целог живота, односно како иновирати – стварати нова знања на основу постојећег.

Младе генерације знање стичу путем различитих медија (интернета), а често самосталан рад пружа веће могућности образовања од тромог и тешко променљивог школског система. Међутим индивидуално стечено знање је углавном несистематизовано те је основни задатак наставника, односно школе, да омогући ученицима активан рад у циљу стицања основних интегрисаних знања и вештина на основу којих је могуће целог живота учити, радити и стварати.

Савремена настава у школама треба да је усмерена ка унапређивању и награђивању размишљања. Императив данашњег образовања је превазилажење класичне наставе физике, која стимулише „тачне“ одговоре, који често представљају понављање дефиниција и памћење израза без разумевања, путем стимулисања индивидуалног размишљања и коришћењем искуственог знања. С обзиром на то да се у спонтаном организовању појмова стечених искуством не користи научна методологија заснована на експерименталним проверама, постојеће искуствено знање ученика се углавном разликује од научног знања, а одговори који се базирају на њему су често погрешни. Међутим, са становишта неговања културе размишљања такве одговоре би требало подстицати, исправљати, па чак и награђивати и користити као основу за даљи интелектуални развој ученика. Да би се искуствено знање ученика модификовало неопходно је учење физике систематски организовати у складу са основним дидактичким принципима везаним за развијања појмова, тако да размишљање и изградња потпунијег и функционалнијег знања о природним појавама постане интегрални део личности ученика. Ако се кроз наставу физике систематски занемарује аспект физике повезан са стварањем знања, ученици остају двоструко ускраћени. С једне стране, остају им непознати суштина проучаваног феномена, као и знања из историје физике која упућују на интелектуални развој човечанства, а с друге, немају прилику да се истински позабаве истраживањем сопственог размишљања о спољашњем свету.

Увођење основних појмова природних наука од првог разреда основне школе кроз предмете: „Свет око нас“, „Рука у тесту“, „Природа и друштво“, упућује на значај систематизације искуствених знања ученика и постепен развој појмова у зависности од нивоа знања и степена зрелости ученика. Значајну улогу у процесу стицања знања путем размишљања имају *једноставни експерименти,* који омогућују ученику проверу сопствених хипотеза о изучаваним појавама, као и примену теоријског знања у практичним ситуацијама и решавању нових проблема. Ученик, сам или групно, може да пронађе у свом појмовном моделу појаве детаљ, који доводи до неслагања са опажањем, као и начин на који га треба променити да би се постигла сагласност између претпоставки и стварних догађања.

1.1. Шта су то једноставни експерименти типа „Уради сам“?

Једноставни експерименти типа „Уради сам“ представљају експерименте који се могу реализовати помоћу материјала који се налазе свуд око нас, односно који не захтевају скупу апаратуру. Разлози за увођење једноставних експеримената у свакодневну школску праксу сажети су у Кинеској изреци која каже:

- Оно што чујем заборавим.
- Оно што видим запамтим.
- Оно што урадим разумем.

Поред демонстрације одређене физичке појаве једноставни експеримети могу представљати и тест спремности ученика да на бази познавања физичких феномена и одређеног математичког апарата, дубље образложе релативно једноставно демонстриране појаве. Употребом једноставних експеримената у настави природних наука постиже се:

- боље разумевање појава у природи;
- уочавање и схватање узрочно-последичних веза природних појава;
- развој појмова по принципу од простог ка сложенијем;
- усвајање знања путем експеримента која су трајнија од традиционално усвојених знања;
- развијање способности анализе експерименталних ситуација;
- подстицање креативности и радозналости ученика;
- трансформисање стечених знања у вештине и навике;
- развијање одговорности ученика према очувању животне средине;
- увођење научног метода у свакодневну наставу...

Савремена настава у школи треба да представља јединствен наставно - образовни процес који укључује наставника и ученика, као активне учеснике у реализацији постављених задатака наставе. Током истраживања деца размишљају и доказују,

размењују гледишта и добијене резултате, долазе до сазнања о одређеним физичким појавама. Наставник је медијатор односно посредник између науке и ученика и експерт који реагује у моменту дебате. Наставник не преноси знања само у форми излагања, него помаже при њиховом усвајању у интеракцији са ученицима. Једна од битних карактеристика једноставних експеримената је њихов мотивациони карактер. Успешно извођење у већини случајева пропраћено је осмехом, или изразом задовољства на лицу, како код ученика тако и код наставника, а често и буром одушевљења. Са подједнаким интересовањем изводе их и ученици виших разреда основне као и средње школе, односно могу се користити од најнижег узраста ученика па до краја средњег образовања. Основу за овакво тврђење даје у неким случајевима компликовано образложење појединих експеримената, које захтева примену математичког апарата вишег нивоа и у неким случајевима може се базирати само на предзнању које одговара факултетском образовању. Зато наставник мора да буде веома опрезан у избору експеримената у зависности од зрелости и нивоа предзнања које ученик поседује. Другим речима мора се опрезно приступати поједностављењу образложења, да се не би упало у замку заблуда и стварања погрешних слика о појединим феноменима, који се демонстријају, или истражују. Због тога наставник треба да:

- постави циљ експеримента,
- одреди узраст ученика (разред),
- размисли о предзнању ученика (искуствено, стечено у школи),
- претпостави одговоре ученика на постављена питања о физичкој појави која се демонстрира,
- направи списак предмета и материјала који су потребни, односно који се препоручују за извођење експеримента,
- опише концизно и јасно креирање и извођење експеримента,
- нацрта јасну слику (скицу) експеримента,
- припреми кратко физичко објашњење експеримента,
- припреми јасне закључке,
- предвиди нове појмове које ученици усвајају,
- направи списак литературе неопходне за проналажење нових идеја за извођење једноставних експеримената (књиге, приручници, интернет адресе, CD...)

Експерименти приказани у практикуму су груписани у оквиру одређених тема, при чему је у свакој дат кратак теоријски увод. Исти експерименти се могу искористити за обраду појмова у различитим темама...

2. ВОДА И ВАЗДУХ

У овом делу приказано је 7 једноставних експеримената којима се демонстрирају одређене особине воде и ваздуха. Образложења експеримената су дата тако да их је могуће урадити и у најнижим разредима основне школе. Исти експерименти се могу искористити и за обраду појмова из Топлоте, Оптике...

Од I до IV разреда основне школе ученици се упознају са: кружењем воде у природи, атмосферским појавама као што су магла, мраз, облак, киша, снег, притисак ваздуха, ширење ваздуха при загревању... Такође се упознају са неким оптичким појавама, обданица, ноћ, помрачење Сунца и Месеца, боје неба, дуга... Одабрани експерименти омогућују најмлађим ученицима да на једноставан начин разумеју физичке појаве, али и да у вишим разредима на основу постојећег знања надграде појмове везане за фазне прелазе (топљење, тачка топљења, испаравање и мржњење) или оптику (разлагање беле Сунчеве светлости, расејање светлости...). Предзнање које ученици имају од I - IV разреда основне школе је искуствено, они знају да киша пада, да зими настаје мраз, да приликом загревања вода прокључа и испарава, а да се на поклопцу посуде образују капи, видели су дугу и различите боје неба. У вишим разредима требало би их подсетити на појмове који се овим експериментима формирају и развијају.

2.1. Теоријски подсетник

2.1.1. Притисак гаса

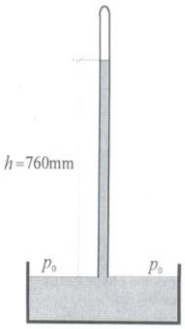
Притисак се дефинише као сила по јединици површине. Међутим у случају флуида, који немају сталан облик, за промену стања - покретање течности у простору, потребно је да спољашња сила делује на неку коначну површину. То значи да је притисак у случају кретања течности, величина аналогна сили у случају кретања чврстих тела. Гравитационо поље делује на сваку честицу течности, односно у течности постоји притисак, који зависи од њене тежине. Притисак на неком месту у течности на дубини h дат је изразом:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{Q}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho V g}{S} = \frac{\rho S h g}{S} = \rho g h \qquad 2.1$$

2.1.2. Атмосферски притисак

Целокупни ваздушни омотач Земље, састављен од смеше гасова и колоидних примеса, назива се атмосфера (*atmos* – пара, *sfera* – лопта). На сваку честицу ваздуха делује гравитациона сила, услед које горњи слојеви атмосфере делују својом тежином на слојеве испод њих, односно ваздух врши притисак на површину Земље. Галилеов (Galileo Galilei, 1564-1642) ученик *Евангелиста Торичели*

(Evangelista Torricelli, 1608-1647) италијански физичар и математичар, открио је 1643. године, постојање атмосферског притиска и први конструисао живин барометар. Цев дужине око једног метара напунио је живом и отворени део цеви поставио у суд са живом као на слици 1. Истицање живе из цеви у суд, се зауставља, када се успостави равнотежа између хидростатичког притиска стуба живе у вертикалној цеви и спољашњег атмосферског притиска, који делује на живу у широј посуди.
Под нормалним атмосферским притиском подразумева се средњи годишњи притисак на нивоу мора. Поред паскала користи се и јединица: $bar = 101kPa$.



Слика 2.1. Торичелијев експеримент

Паскал (Blaise Pascal, 1623-1662) је закључио да се дужина живе у Торичелијевом барометру мора смањивати са повећањем надморске висине, с обзиром на то да тежина ваздуха опада са висином. Ову претпоставку проверио је Паскалов зет, Перије (Florin Périer, 1605-1671), који је дужину живиног стуба у Торичелијевом барометру измерио у подножју планине висине око 1450m, а затим је апаратуру пажљиво пренео на врх, где је поновио мерење оставивши у подножју планине контролни барометар под надзором асистента. Перије је установио да је живин стуб на врху планине више од 7cm краћи него у подножју, док је дужина стуба у контролном барометру остала непромењена током читавог дана. Ваздушни притисак се мења са висином по експоненцијалном закону:

$$p = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}} \qquad 2.2$$

2.1.3. Магла

Магла представља нагомилавање постојећих капљица воде у ваздуху, или кристала леда у близини Земљине површине, које смањује хоризонталну видљивост испод 1km. Магле могу бити веома јаке (видљивост мања од 50 m), јаке (видљивост од 50-200 m) и слабе (видљивост од 500 -1000 m). Апсолутни садржај водене паре у ваздуху Q:

$$Q = \alpha + \delta \qquad 2.3$$

где је α - маса водене паре, а δ- маса капљица воде и кристалића леда у m^3 ваздуха. Ако је δ=0, магла не постоји. Формирање магле може почети и при апсолутној влажности мањој од 100%, уколико језгра кондензације поседују хигроскопност.

Магле се деле на:

- магле унутар масе ваздуха, односно радијационе магле, адвективне магле, магле испаравања и
- магле повезане са атмосферским фронтовима - фронталне магле.

2.1.4. Облаци

Облаци настају под дејством сложених термодинамичних процеса, који доводе водену пару до кондензације и сублимације. Ако су састављени од *водених капљица* пречника 4-25 μm, садрже 100-600 капљица/cm^3. Ако су састављени од *кристалића леда,* при ниским температурама имају облик *шестоугаоних плочица или призми* пречника 10-20 μm, а у процесу сублимације у процесу раста образују се шестокраке звездице, пахуљице, или кристали сложеног облика, величине неколико mm, садрже 0.1 крист./cm^3.

Водност облака представља садржај течне и кристалне влаге g/m^3 облачне масе. Ако су састављени од *водених капљица* водност је 0.1-1 g/m^3. Ако су састављени од *кристалића леда* водност је 10^{-3} g/m^3. Водност зависи од температуре и опада са температуром. На (-15^{0}C)-(-20^{0}C) водност је 0.03 g/m^3, а при температури испод -30^{0}C, водност је 0.006 g/m^3.

Класификација облака може бити морфолошка - по спољашњем изгледу, или генетичка - по процесу стварања (слика 2.2-2.5).

Морфолошка класификација подразумева постојање 10 основних облака. Деле се по висини на: високе, средње, ниске, облаке вертикалног развића (доња основа им је у области ниских, а горња у области средњих или високих облака). По међународној класификацији постоји четири породице облака, при чему наведене висине важе за средње географске ширине:

Породица I – Високи облаци (изнад 600m)	Цирус (Ci)	перјасти облак
	Цирокумулус (Cc)	гомиласти облак
	Циростратус (Cs)	слојасти облак
Породица II – Средњи облаци (од 6000 – 2000m)	Алтокумулус (Ac)	средњи гомиласти облак
	Алтостратус (As)	средњи слојасти облак
Породица III – Ниски облаци (испод 2000m)	Стратокумулус (Sc)	слојасто – гомиласти облак
	Стратус (St)	слојасти облак
	Нимбостратус (Ns)	слојасто-кишни облак
Породица IV – Облаци вертикалног развића	Кумулус (Cu)	гомиласти облак
	Кумулонимбус (Cb)	гомиласто-кишни облак

а) б)

Слика 2.2. Високи облаци: а) Cirrus fibratus (влакнасти)
б) Cirrus uncinus (кукичасти)

а) б)

Слика 2.3. Средњи облаци: а)Altocumulus translucidus (провидни)
б) Altocumulus lenticularis (сочивасти)

а) б)

Слика 2.4. Средњи облаци: а) Stratocumulus undulatus (таласасти)
б) Nimbostratus

а) б)

Слика 2.5. Облаци вертикалног развића: а) Cumulus б) Cumulonimbus Calvus

2.1.5. Ветар

У атмосфери постоји стално струјање ваздуха. *Вертикална струјања* (конвективна) условљавају – пренос топлоте и влаге, образовање облака и падавина, грмљавину, конвективну турбуленцију ваздуха... *Хоризонтална струјања* (адекватна) изазивају настанак ветра. Хоризонтално кретање ваздуха у односу на Земљину површину назива се ветар. Карактеристике ветра су: правац, смер дувања и брзина. Правац се изражава у степенима, а рачуна се од северног правца географског меридијана у смеру казаљке на сату, или квадрантима тог дела хоризонта из ког дува. Брзина и смер дувања су непостојаног правца због турбуленција. Брзина ветра се одређује по Бофоровој скали, која је приказана у Табели 1.

Табела 2.1.
Бофорова скала брзина ветра

Назив ветра	**слаб**	**умерен**	**умерено јак**	**веома јак**	**олујан**	**олуја**	**јака олуја**	**сл. оркану**	**оркан**
v(m/s)	до 3	4-7	7-10	10-12	12-15	15-20	20-25	25-30	преко 30

У близини Земљине површине брзина ветра је око 50 m/s, а у атмосфери и до 150m/s.

Млазне струје представљају јака ваздушна струјања у горњој тропосфери, или у стратосфери. Карактерише их велики вертикални и хоризонтални градијент ветра, као и једна или више зона са максималним брзинама. Млазна струја осим велике брзине (од 180-280 km/h) узрокује и веће ветрове које осетимо близу површине, олује, урагане и торнада. Торнада настају на контакту јачих ветрова у нижим слојевима тропосфере и млазне струје, која се спустила на мању висину те својом великом брзином „завитлала“ постојеће ветрове. Од брзине млазне струје зависи брзина торнада (слика 2.6).

Слика 2.6. Торнадо

2.1.6. Оптичке појаве у атмосфери

Оптичке појаве у атмосфери су последица интеракције беле Сунчеве светлости са честицама атмосфере. Атмосфера представља оптички нехомогену средину у којој молекули ваздуха, течне и чврсте честице расејавају и апсорбују Сунчево зрачење, при чему се ови процеси одигравају са различитим степеном интензитета у појединим деловима спектра. Приликом проласка кроз атмосферу такође долази до

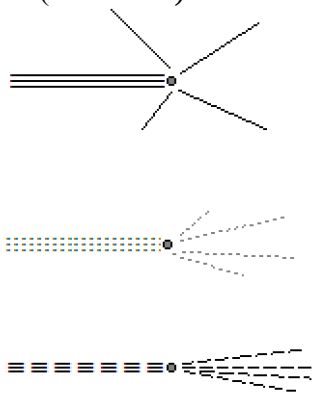
преламања, расејања, дисперзије и рефлексије светлосних зрака, а као последица настаје плава боја неба, бакарно црвени преливи Месечевих помрачења, дуга, лажна Сунца, хало ефекат...

2.1.6.1. Боја неба

Плава боја неба, односно бакарно-црвена боја Месеца могу се објаснити на основу Рејлијевог расејања. Рејлијев закон важи за расејање светлосних зрака на честицама чије димензије не прелазе десетак процената таласне дужине светлости која се расејава. Интензитет расејаног зрачења дат је изразом:

$$I = I_0 \frac{8\pi^4 N\alpha^2}{\lambda^4 R^2}\left(1+\cos^2\theta\right) \qquad 2.4$$

где је I_0 - интензитет упадног снопа, N - број молекула на којима се врши расејање, α - поларизибилност, R - растојање од места расејања, θ - угао расејања, λ - таласна дужина зрачења. Ако се расејање догађа под правим углом онда је интензитет расејаних зрака, I, мањи за половину од интензитета зрака расејаних у правцу простирања. Расејање зрака таласних дужина реда величине 400 nm је 9,4 пута веће од расејања зрака чије су таласне дужине 700 nm, у случају да им је интензитет упадног снопа једнак (слика 2.7).



Слика 2.7. Рејлијево расејање зрака различитих таласних дужина:
плава _____, жута....., црвена _ _ _ _

Рејлијево расејање зависи и од угла, под којим се Сунце налази. Када се Сунце издигне изнад хоризонта, у присуству веће концентрације прашине, капљица воде и кристалића леда, небо има све нијансе плаве боје. Приликом изласка или заласка Сунца у присуству честица аеросола у атмосфери, које су релативно веће од честица молекула ваздуха, и више расејавају зраке већих таласних дужина, небо поприма црвену боју. У овом случају светлосни зраци прелазе дужи пут кроз атмосферу до ока посматрача, при чему се велики део плаве светлости расеје, а до њега долазе зраци који су се најмање расејали, односно чије таласне дужине припадају спектру црвене боје.

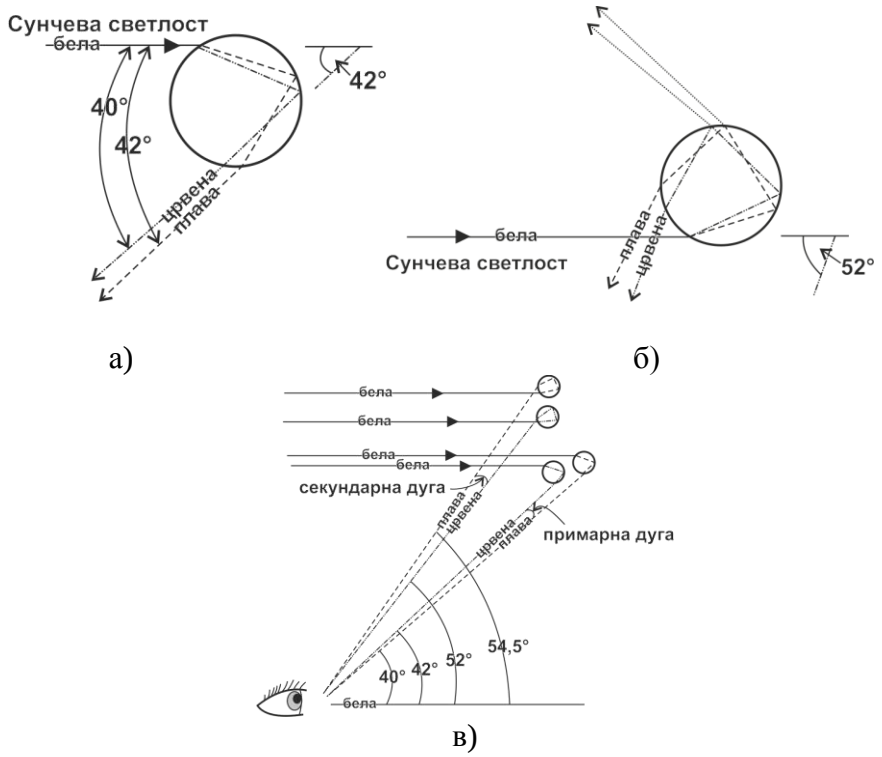
У случају да се расејање врши на капљицама воде или кристалића леда који чине облак, а чије су димезије веће од таласне дужине светлости не долази до Рејлијевог расејања. Зраци свих таласних дужина се расејавају са скоро истим интензитетом, а расејање се назива Миево расејање. Расејана светлост у овом случају има белу боју и то је разлог због ког су облаци и магла беле боје.

2.1.6.2. Дуга

Дуга представља оптичку појаву која настаје као последица преламања и разлагања светлосних зрака на површини кишних капи и потом тоталне рефлексије тако насталих монохроматских зрака од унутрашње стране те исте кишне капи. Варирање боја у дуги настаје због различите величине кишних капи. Зрачење које пада на кап се може делом:

- рефлектовати од капи и вратити у атмосферу
- преломити и проћи кроз кишну кап као кроз план паралелну плочу
- преломити, разложити и тотално рефлектовати од унутрашње стране кишне капи – зраци који излазе образују примарну дугу (слика 2.8.а).
- преломити, разложити и два пута тотално рефлектовати од унутрашње стране кишне капи – зраци који излазе образују секундарну дугу (слика 2.8.б).

Да би се дуга видела Сунце мора бити иза, а кишни облак испред посматрача. Велики број кишних капи условљава да посматрача види дугу у облику лука. Секундарна дуга се ређе може видети, јер је вероватноћа двоструке тоталне рефлексије мала, а при свакој рефлексији интензитет светлости се смањује.



Слика 2.8. Образовање дуге: а) примарна, б) секундарна, в) углови под којим их око види

2.2. Једноставни експерименти

2.2.1. УСИСАЈ ЈАЈЕ У БОЦУ

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- стаклена боца са дугим уским грлом
- тврдо кувано јаје
- алкохол, вата и шибица
- дугачка пинцета

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Стави празну боцу на сто. Ољушти кувано јаје. Натопи вату алкохолом, ухвати је пинцетом, и упали шибицом и убаци је у боцу. Брзо стави јаје на отвор боце. Јаје ће бити усисано у боцу.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Шта се догодило? Упаљена вата је загрејала ваздух унутар боце. Када се ваздух загреје он се шири и захтева више простора, те део изађе из боце. Када упаљена вата сагори, ваздух унутар боце се хлади и скупља, тако да заузима мање простора. Тако се ствара нижи притисак унутар боце него изван ње. Виши притисак споља гура јаје и оно бива усисано у боцу.

Запажања

Овера:

2.2.2. НАПРАВИ СВОЈ БАРОМЕТАР

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- мала стаклена тегла
- пластична кеса
- маказе
- сламка
- картица за означавање
- гумица за тегле

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Прекриј теглу пластичном кесом, добро затегни и учврсти гумицом. Пластична кеса треба да је тако затегнута да је тегла херметички затворена. Постави сламку хоризонтално на пластичну кесу тако да је две трећине сламке на тегли. Залепи сламку на пластичну кесу тако да не падне. Залепи картицу за означавање на теглу иза сламке. Сламка служи као показивач. Оловком пажљиво обележи положај сламке на картици. Можеш направити ознаке на картици тако да лакше пратиш промене. После 15 минута, забележи нови положај сламке на картици. Настави проверу и бележење положаја сламке више пута током дана.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Висок спољашњи притисак ће удубити пластичну кесу и сламка ће се подићи. Ако је притисак ваздуха низак, пластична кеса ће имати испупчен облик и сламка ће се спустити. Ако је могуће, провери мерења правим барометром.

Запажања

Овера:

2.2.3. НАПРАВИ МАГЛУ

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- стаклена тегла
- цедиљка за чај
- вода
- коцке леда

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Напуни стаклену теглу топлом водом и остави је око минут у тегли. Проспи скоро сву воду из тегле - остави око 5 cm. Постави цедиљку са неколико коцки леда преко врха тегле. Посматрај шта се догађа!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Хладан ваздух, који настаје око коцки леда, меша се са топлим ваздухом у тегли. Услед мешања са хладним ваздухом већи де водене паре у тегли кондензује и формира се густа магла.

Запажања

Овера:

2.2.4. ОБЛАК У БОЦИ

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- провидна боца од 2 l
- 1 лист црне хартије
- вода
- шибица

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Сипај 6 cm веома топле воде у боцу од 2 l и добро је затвори. Треси снажно боцу око једног минута. Ово ће дистрибуирати молекуле воде у ваздуху. Упали шибицу, остави је да гори 2 s, убаци у боцу и поново брзо затвори боцу. Окрени боцу на страну, стави на црни папир, снажно притисни и држи око 10 s. Пусти да се облаци појаве. Посматрај и понови поступак у случају да се не појаве. Када се облаци појаве, брзо одврни чеп. Видећеш облаке како се шире из боце.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

На овај начин си креирао услове неопходне за формирање облака: водена пара у ваздуху и честице дима на којима вода кондензује и хлађење ваздуха снижавањем ваздушног притиска унутар боце. Облаци се формирају услед кондензације водене паре на честицама дима.

Запажања

Овера:

2.2.5. ТОРНАДО У КРЧАГУ

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- мања тегла
- течни сапун
- сирће
- вода

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Напуни теглу до око три четвртине водом. Стави малу кашичицу течног сапуна у теглу. Додај кашичицу сирћета. Затвори теглу и треси је да се сатојци помешају. Заврти теглу у круг. Течност ће формирати мали торнадо.

Ако желиш да будеш креативан, можеш у теглу ставити поврће (грашак, комадићи шаргарепе, боранија...) да прикажеш како настају рушевине које он изазива.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Вртложно кретање које настаје када завртиш боцу у круг је лак начин да направиш сопствени торнадо. Слично се догађа и у облацима, где услед судара топлих са хладним силазним струјама ваздуха настаје вртложно кретање, које се због силе теже пружа све до тла.

Запажања

Овера:

2.2.6. ЕКСПЕРИМЕНТ ПЛАВОГ НЕБА

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- лампа
- провидна пластична боца од 2 l
- чај или млеко
- вода

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Три четвртине боце од 2 l напуни водом и постави лампу тако да осветљава боцу са стране. Додај кашичицу чаја или млека у воду. Затвори боцу и треси је док се вода и млеко не помешају. Шта видиш? Настави да додајеш млеко све док не запазиш плаву светлост. Када запазиш плаву светлост, посматрај из различитих углова боцу све док се плава боја не изгуби и не појави наранџаста или црвена.

ОБЈАШЊЕЊЕ

Исто као у атмосфери, смеша највише расејава таласне дужине светлости које одговарају плавој боји – далеко више од осталих. То је разлог због ког је небо плаво! Обзиром да расејање зависи и од угла под којим се налази Сунце, када је близу хоризонта, више се расејавају зраци већих таласних дужина, те небо добија цвену или наранџасту боју.

Запажања

Овера:

2.2.7. НАПРАВИ ДУГУ

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- чаша воде
- лист белог папира
- Сунце

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Напуни чашу до врха водом. Стави чашу са водом на сто тако да је пола чаше на столу, а пола ван њега. Буди пажљив да не би пала! Провери да ли Сунце обасјава чашу. Потом стави лист белог папира на под. Подешавај положај папира и чаше док се дуга не формира на папиру.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Зашто се то догађа? Бела сунчева светлост може се разложити на много боја. То су: црвена, наранџаста, жута, зелена, плава, индиго плава и љубичаста. Када светлост пролази кроз воду разлаже се на боје које можеш да видиш у дуги.

Запажања

Овера:

3. КРЕТАЊЕ

У овом делу је приказано 8 једноставних експеримената којима се демонстрира кретање. Уколико се њихова објашњења прилагоде узрасту ученика експерименти са редним бројем 3.2.1-3.2.4 могу се извести у седмом разреду основне школе. За потпуно објашњење осталих експеримената неопходан је виши степен познавања физике, као и захтевнији математички апарат, те су погодни за извођење у првом разреду гимназије, када се објашњења могу дати на вишем нивоу.

3.1. Теоријски подсетник

3.1.1. Механичко кретање

Механичко кретање је промена положаја једног тела у односу на неко друго (референтно) тело. Кретање је релативно, исто тело може да се креће у односу на једно, а мирује у односу на друго референтно тело. Када тела не мењају узајамни положај, онда се каже да она мирују једно у односу на друго.

Путања или ***трајекторија*** је стварна или замишљена линија, по којој се тело током времена креће. Према облику путање кретање може бити праволинијско (када се не мења правац вектора брзине) и криволинијско (када се мења правац вектора брзине). Део путање коју тело пређе за одређено време називамо ***пређени пут.***

Средња путна брзина је дата изразом:

$$v_s = \frac{\Delta s}{\Delta t}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\right] \qquad 3.1$$

Уколико је потребно одредити ***тренутну брзину*** – вредност брзине у тачно дефинисаном временском тренутку тражи се гранична вредност промене радијус вектора по времену:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = (\vec{r})' \qquad 3.2$$

3.1.1. Равномерно праволинијско кретање

Равномерно праволинијско кретање је кратање када тело за једнаке временске интервале прелази једнака растојања

Брзина код равномерног праволинијског кретања је бројно једнака пређеном путу у јединици времена:

$$v = \frac{s}{t} \qquad 3.3$$

3.1.2. Убрзано праволинијско кретање

Када брзина кретања није константна, тело се може кретати тако да се интензитет његове брзине повећава (тело има позитивно убрзање), или смањује (тело има негативно убразање).

Средње убрзање се дефинише као промена брзине у јединици времена:

$$\vec{a}_{sr} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}\left[\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\right] \qquad 3.4$$

Када се тело креће убрзано са сталним убрзањем (равномерно убрзано, односно униформно убрзано) брзина тела равномерно расте (или опада ако је убрзање негативно) и пропорционална је времену:

$$v = v_0 \pm at \qquad 3.5$$

$$s = s_0 + v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \qquad 3.6$$

а) б)

Слика 3.1. График зависности: а) брзине од времена са почетном брзином v_o
б) пута од времена, код код равномерно убрзаног кретања

3.1.3. Кружно кретање

У случају кружног кретања описани угао, φ, је аналоган пређеном путу, s, код праволинијског кретања, а угаона брзина, $\vec{\omega}$, брзини, $\vec{v}$. Средња угаона брзина, ω, ротирајућег чврстог тела је једнака количнику угаоног померја и временског интервала:

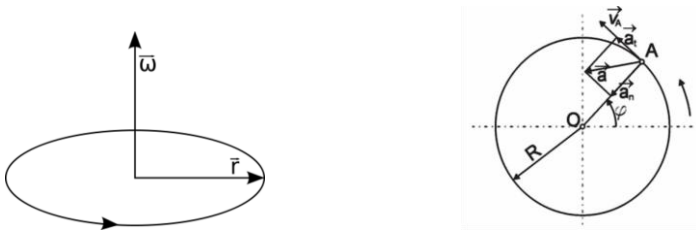
$$\omega_{sr} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad 3.7$$

У случају равномерног кружног кретања брзина $\vec{v}$, која има правац и смер тангенте на кружницу је константна по интензитету: $|\vec{v}| = const.$, али није константна по правцу. Угаона брзина ротације, $\vec{\omega} = const.$, има правац осе ротације, а смер је одређен правилом десног завртња (слика 3.2.а). Веза између угаоне брзине ротације и брзине $\vec{v}$ је:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{\omega} \times \vec{r} \qquad 3.8$$

Убрзање је код равномерног кружног кретања усмерено ја ка центру ротације и назива се нормално или ***центрипетално убрзање.***

$$a_n = R\,\omega^2 = \frac{v^2}{R} \qquad 3.9$$



а) б)

Слика 3.2. Графички приказ: а) $\vec{\omega}$, б) убрзања у случају неравномерног кружног кретања

У случају неравномерног кружног кретања $\vec{\omega} \neq const.$, те укупно убрзање поред нормалне компоненте садржи и тангенцијалну (слика 3.2.б):

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_t \qquad 3.10$$

$$\vec{a}_t = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \rightarrow a_t = R\frac{d\vec{\omega}}{dt} = R\vec{\alpha} \qquad 3.11$$

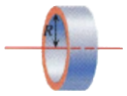
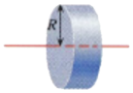
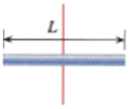
За описивање убрзаног кретања са сталним угаоним убрзањем (равномерно, односно униформно убрзаног кружног кретања) добијају се изрази аналогни изразима за равномерно убрзано праволинијско кретање где су величине замењене одговарајућим аналогним:

$$\omega = \omega_0 \pm \alpha t \qquad 3.12$$

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t \pm \frac{\alpha t^2}{2} \qquad 3.13$$

где су ω_0 - почетна угаона брзина, ω -угаона брзина, φ_0 -почетни угао, φ - описани угао, t -време и α -угаоно убрзање.

Код ротационог кретања се као мера инертности тела користи скаларна величина која се назива ***момент инерције*** и аналогна је маси при транслаторном кретању. Момент инерције тела зависи од његове масе и од облика.

Момент инерције прстена масе M и полупречника R		$I = MR^2$
Момент инерције ваљка масе M и полупречника R		$I = \frac{1}{2}MR^2$
Момент инерције шипке масе M и дужине L		$I = \frac{1}{12}ML^2$

Момент инерције тела зависи и од избора осе ротације у односу на коју се посматра распоред масе у телу. Ако тело масе m у односу на осу ротације која пролази кроз његов центар маса има момент инерције I_0, тада ће у односу на било коју другу паралелну осу, на растојању d од поменуте имати момент инерције I, дефинисан Штајнеровом теоремом:

$$I = I_0 + md^2 \qquad 3.14$$

3.1.4. Кретање под дејством Земљине теже

Тежина је сила којом тело управно притиска подлогу, или затеже канап на ком виси. На тела која се налазе у гравитационом пољу Земље делује ***сила Земљине теже (гравитациона сила Земље),*** којом Земља привлачи тела па она добијају стално убрзање једнако Земљином гравитационом убрзању $g = 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$. Услед тога у зависности од интензитета, правца и смера почетне брзине тела кретање у гравитационом пољу Земље може бити: слободан пад (без почетне брзине), хитац наниже (са почетном брзином у вертикалном правцу усмереном наниже), хитац навише (са почетном брзином у вертикалном правцу усмереном навише), хоризонтални хитац (са почетном брзином у хоризонталном правцу, паралелном са површином) и коси хитац (са почетном брзином чији правац заклапа неки угао са хоризонталом). Осим што Земља гравитационим деловањем условљава праволинијско убрзано кретање тела, у правцу нормалном на површину – слободно падање тела, она одређује и кретање небеских тела.

3.1.5. Њутнови закони

Први Њутнов закон – Закон инерције:

Свако тело остаје у стању мировања или равномерног праволинијског кретања све док га неко друго тело не примора да то стање промени (односно, ако на њега не делују друга тела или се деловања других тела узајамно поништавају).

Према I Њутновом закону у природи постоје такви системи у којима важи закон инерције. Управо ти системи референције називају се инерцијалним системима. У неинерцијалним системима овај закон важи само уколико се уведе инерцијална сила.

Други Њутнов закон

Промена брзине или правца кретања тела, догађа се ако на тело делује сила, односно неко друго тело. Интеракција између тела може бити директна, односно остварује се у непосредном додиру два тела, или индиректна, односно остварује се путем поља. Убрзање тела услед деловања резултујуће силе на то тело пропорционално је сили:

$$\vec{a} \sim \vec{F}$$

II Њутнов закон гласи:
Сила је једнака брзини промене импулса у току времена деловања на тело:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \qquad 3.15$$

где су p - импулс, t - време.
II Њутнов закон за транслаторно кретање повезује силу и промену импулса тела у току времена. Пошто је импулс физичка величина која се представља производом масе и брзине тела ($\vec{p} = m\vec{v}$), може се писати да је:

$$\vec{F} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = \frac{m\vec{v} - m_0\vec{v}_0}{t - t_0} \qquad 3.16$$

Под условом да се маса тела не мења у току времена $m_0 = m$:

$$\vec{F} = m\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}$$

односно:

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad 3.17$$

Ако на тело константе масе делује више сила $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$,..., $\vec{F}n$, онда је:

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + ... + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i \qquad 3.18$$

односно:

$$m\vec{a} = \vec{R}$$

где је $\vec{R}$ - резултанта (збир свих сила које делују на једно тело).

Трећи Њутнов закон – Закон акције и реакције:
Ако једно тело делује на друго неком силом, $\vec{F}_{12}$, онда и то друго делује на прво силом истог интензитета и правца, а супротног смера $\vec{F}_{21}$:

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12} \qquad 3.19$$

Обично се деловање датог тела на друго тело назива сила акције, а деловање другог тела на прво сила реакције.
Трећи Њутнов закон следи из узајамности деловања двају тела. Силе се услед узајамности деловања тела увек појављују у паровима (акција – реакција), настају и ишчезавају истовремено и имају исту природу. Ове силе делују на различита тела и зато се никако ***не могу узајамно поништити***.

3.1.6. Закони одржања

Закони одржања важе само у изолованим системима (системима на које не делују никакве спољашње силе). То значи да тела у оквиру изолованог система могу међусобно деловати било каквим и било коликим силама, али ниједно тело не може деловати са неким телом ван овог система.

3.1.6.1. Закон одржања енергије

У затвореном систему (који не размењује енергију с околином), укупна количина енергије у разним њеним облицима остаје стална (енергија се не може створити нити уништити, него само прелазити из једног облика у други).

3.1.6.2. Закон одржања импулса

У неком изолованом систему (у којем не делују спољашње силе) укупан импулс је константан, што је у складу са Њутновим законом инерције.
Постоје две основне врсте судара, при чему обе ове врсте конзервишу (одржавају) импулс, а то су:

1. Еластични судари у којима се одржава кинетичка енергија и укупан импулс тела пре и после судара и
2. Нееластични судари у којима се не одржава енергија, али је укупан импулс одржан пре и после судара.

3.1.7. Осцилаторно кретање

Осцилаторно кретање је периодично кретање, односно кретање које се после извесног времена понавља на исти начин и увек по истој путањи.
Када тело врши осцилације, растојање од равнотежног положаја назива се ***елонгација***, а максимално растојање од равнотежног положаја назива се ***амплитуда***.
Најмањи интервал времена после ког се осцилаторно кретање понавља на исти начин назива се ***период осциловања*** (T). Период је време за које тело изврши једну целу осцилацију.
Број осцилација у једној секунди назива се ***фреквенција (учесталост)*** (ν) ***осциловања***:

$$\nu = \frac{1}{T} \text{ [Hz]} \qquad 3.20$$

Клатно је било које тело које, након што се изведе из равнотежног положаја, наставља да осцилује под утицајем Земљине теже. Математичко клатно представља свако тело занемарљивих димензија које осцилује око равнотежног положаја, окачено о неистегљиву нит занемарљиве масе. Период осциловања математичког клатна дат је изразом:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad 3.21$$

3.2. Једноставни експерименти

3.2.1. СЛОБОДАН ПАД – БЕСТЕЖИНСКО СТАЊЕ

(*слободан пад - сила теже - еластича сила - безтежинско стање)*

Приликом слободног пада – нестаје тежина тела!

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- велика пластична чаша од јогурта
- спајалица
- 2 гумице исте величине
- конац
- 2 тега или металне кугле
- лепљива трака

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Врхом загрејане игле направи мали отвор на дну пластичне чаше (пречника ~ 3 mm). Кроз отвор провуци две гумице и помоћу спајалице их учврсти са спољашње стране чаше. На други крај гумице (унутар чаше) вежи конац и на његовом крају лепљивом траком причврсти тег, на исти начин причврсти тег и на другој гумици. Пребаци тегове преко ивице чаше (види слику). Ако се чаша са теговима који висе са спољашње стране пусти да слободно пада са веће висине (~ 2 – 3 m), може се видети, како се тегови повлаче у унутрашњост чаше.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

У стању мировања тежина тегова је уравнотежена силом затезања гумица (заједно са силом трења између конца и ивице чаше). Пошто се у убрзаном систему приликом слободног пада чаше тегови налазе у бестежинском стању, сила затезања гумица их повлачи у чашу.

Запажања

Овера:

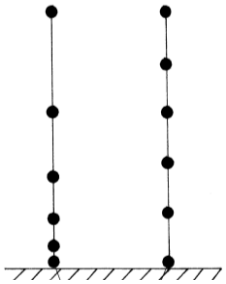
3.2.2. СЛОБОДАН ПАД ПОВЕЗАНИХ НОВЧИЋА

(*слободан пад - убрзање*)

Помоћу конца на који су причвршћени новчићи или кликери на одређеним растојањима може се демонстрирати веза између времена падања и пута у случају слободног пада.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- танак јак конац
- 14 једнаких новчића или кликера, дугмади или матица од шрафа
- празна конзерва или метална плоча
- маказе, лепљива трака



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

На крај конца помоћу лепљиве траке залепи први новчић или кликер. Шест других новчића залепи тако да се њихов размак у односу на први новчић односи као 1 : 4 : 9 : 16 ... Размаци између новчића се односе као 1 : 3 : 5 : 7 ...

Ако се конац који слободно виси, тако да први новчић додирује дно конзерве, пусти да падне, новчићи ће у једнаким временским размацима падати на дно конзерве.

На један крај другог конца, који је исте дужине као први, се залепи такође новчић. Осталих шест новчића залепе се на конац, тако да су на истим растојањима. Ако се конац пусти да падне, онда ће новчићи падати на дно конзерве у све краћим временским интервалима.

Размаци између новчића морају бити изабрани тако да временски размак једнаког падања на дно буде остварен за 0,1s односно 0,2s .

Временски интервал од 0,1s:

$$5\,\text{cm} + 15\,\text{cm} + 25\,\text{cm} + 35\,\text{cm} + 45\,\text{cm} + 55\,\text{cm} = 180\,\text{cm}$$

Временски размак 0,2 s:

$$20\,\text{cm} + 60\,\text{cm} + 100\,\text{cm} + 140\,\text{cm} + 180\,\text{cm} + 220\,\text{cm} = 720\,\text{cm}$$

Експеримент треба извести само у затвореним просторијама, пошто и најмањи ветар утиче на резултат експеримента. Ако је конац довољно танак, чуће се удар новчића на дно конзерве. Да би се исти односно краћи временски размаци могли добро чути, требало би причврстити шест до седам новчића на конац.

Ако је дужи конац требало би по могућности узети теже новчиће, да би се утицај струјања ваздуха у просторији учинио што мањим. Осим тога конзерва или метална плоча, би требало да буду велике површине како новчићи не би пали поред ње.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Уколико се пусти тело да слободно пада, онда је пређени пут дат изразом:

$$s(t) = \frac{1}{2} g t^2 \qquad 3.22$$

односно:

$$t(s) = \sqrt{\frac{2s}{g}} \qquad 3.23$$

Сви новчићи на концу се пуштају истовремено заједно са концем. Ако новчићи треба да падну на дно у истим временским размацима, између времена падања t_i мора постојати сљедећи однос:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \ldots = 1 : 2 : 3 : \ldots$$

Овај однос времена падања добија се на основу једначине (3.22), ако се путеви s_i новчића (први случај) односе као:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \ldots = 1 : 4 : 9 : \ldots$$

Ако се новчићи причврсте еквидистантно на конац (други случај), то значи:

$$s_1 : s_2 : s_3 : \ldots = 1 : 2 : 3 : \ldots ,$$

њихова времена падања t_i на основу једначине (3.23) односе се као:

$$t_1 : t_2 : t_3 : \ldots = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \ldots$$

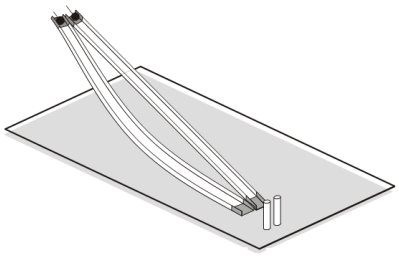
Запажања

Овера:

3.2.3. ЧИЈЕ ЈЕ ВРЕМЕ СПУШТАЊА КРАЋЕ?

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- две еластичне траке или траке исечене од аутомобилске гуме (дужине 2 m, ширине 15 mm)
- две једнаке металне куглице
- шира дрвена даска као подлога
- држач за траке
- две креде
- ексер и чекић

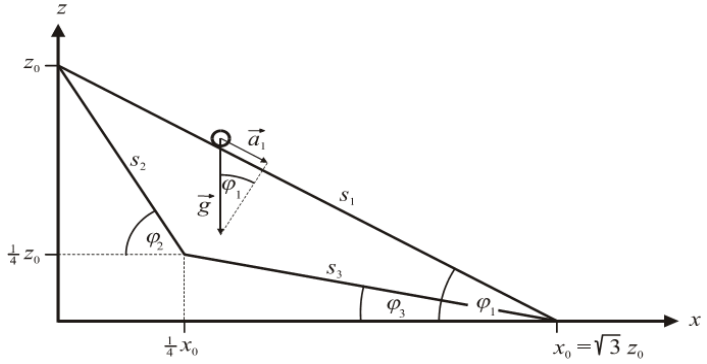


ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Еластичне траке учврсти за држач и подлогу (даску) као на слици.
Једна трака треба да је потпуно затегнута, тако да се кугла по њој креће праволинијски. Друга трака треба да је мало опуштена, тако да се кугла креће по кривој линији. Постави обе кугле на врхове трака и истовремено их пусти да се крећу дуж путања. Посматрај шта се догађа. Која кугла за краће време стиже до краја пута? Бржа је кугла која се креће по опуштеној траци.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Брзина кретања кугли зависи од висине са које полазе, врсте подлоге, као и облика (нагиба) подлоге. Обзиром да су кугле од истог материјала, полазе са исте висине и крећу се по истој подлози, разлика у брзини настаје због различитог нагиба трака. Уколико је нагиб већи, компонента силе Земљине теже у правцу пута је већа те је и брзина кретања коју кугла стекне већа. Због тога кугла која се креће по опуштеној подлози добије већу брзину на самом почетку кретања и стиже брже до краја пута.
Овај екперимент представља интересантан пример у случају да се обрађује криволинијско кретање. Одговор на питање који је пут, између две тачке у простору, временски најкраћи представља проблем брахистохроне. Он се може поредити са Фермаовим принципом простирања светлости кроз средине различитог индекса преламања. Да би се у потпуности објаснило овакво кретање неопходан је сложен математички апарат (рачун варијације), али за ученике средњих школа може се применити апроксимативно решење, које даје у потпуности задовољавајући резултат.



Слика 3.3. Праволинијска путања кугле и апроксимирана криволинијска путања

Ако се пут дуж опуштене подлоге апроксимира путевима s_2 и s_3, види слику 3.3, следи:

$$s_1 = \quad 2z_0\,,\ s_2 = \frac{1}{2}\sqrt{3}z_0\,,\ s_3 = \frac{1}{2}\sqrt{7}z_0 \qquad 3.24$$

Компоненте убрзања ($a = g\sin\varphi$) су:

$$a_1 = \frac{g}{2}\,,\ \ a_2 = \frac{g\sqrt{3}}{2}\,,\ a_3 = \frac{g}{2\sqrt{7}} \qquad 3.25$$

За убрзано кретање, без почетне брзине, време кретања тела дуж пута s_1, t_1 је:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2s_1}{a_1}} = 2\sqrt{2}\sqrt{\frac{z_0}{g}} \approx 2{,}83\sqrt{\frac{z_0}{g}} \qquad 3.26$$

За део пута s_2, t_2 је:

$$t_2 = \sqrt{\frac{2s_2}{a_2}} = \sqrt{2}\sqrt{\frac{z_0}{g}} \qquad 3.27$$

На делу пута s_3 кугла се креће убрзано са почетном брзином:

$$s_3 = v_2 t_2 + \frac{1}{2}a_3 t_3^2 \qquad 3.28$$

односно пошто је почетна брзина кугле на путу s_3 једнака по интензитету крајњој брзини кугле на путу s_2:

$$s_3 = \sqrt{2s_2 a_2}\,t_3 + \frac{1}{2}a_3 t_3 \qquad 3.29$$

Време кретања кугле на делу пута s_3 је:

$$t_3 = \left(\sqrt{56} - \sqrt{42}\right)\sqrt{\frac{z_0}{g}} \qquad 3.30$$

Укупно време кретања кугле на криволинијској путањи је:

$$t_2 + t_3 = \left(\sqrt{2} + \sqrt{56} - \sqrt{42}\right)\sqrt{\frac{z_0}{g}} \approx 2{,}42\sqrt{\frac{z_0}{g}} \qquad 3.31$$

Пошто је $t_1 \rangle\ t_2 + t_3$ кугла ће брже прећи криволинијску путању.

Запажања

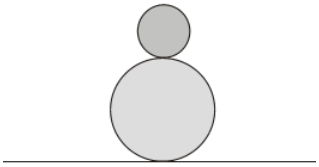
Овера:

3.2.4. КОЈА ЋЕ ЛОПТА ОДСКОЧИТИ ВИШЕ?

Овај експеримент се може извести у учионици а погодан је за демонстрацију закона одржања импулса и енергије.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- једна велика лопта
- једна мала лопта



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Постави лопте једну на другу тако да се мала налази изнад велике лопте, а тежишта им леже у истој линији. Подигни руке што више можеш и пусти лопте да заједно падају. Када лопте додирну земљу, велика лопта остане на земљи, или мало одскочи, а мала одскочи далеко више. Објасни зашто се то догађа!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Лопте падају под утицајем силе Земљине теже. Обзиром да падају са убрзањем које је једнако гравитационом убрзању, до земље стижу у исто време, слепљене као што си их поставио у почетном тренутку. У току пада лопте се налазе у бестежинском стању. Када лопте ударе у земљу већа остаје на тлу или одскочи веома мало, а мала знатно одскочи увис. Судар доње лопте са земљом није идеално еластичан, она губи један део кинетичке енергије на рад силе трења, при удару у тло, други део се предаје мањој лопти, а трећи део претвара у сопствену потенцијалну енергију. Зато она одкочи само мало. Горња мања лопта приликом удара, претрпи идеално еластичан судар са великом лоптом. Њена кинетичка енергија приликом удара се претвори у потенцијалну. Поред своје кинетичке енергије, она прими део кинетичке енергије доње веће лопте, тако да одскочи знатно више од висине са које је пуштена да падне. Висина на коју ће одскочити зависи од односа маса лопти. На основу закона одржања импулса и енергије, може се писати:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2' \qquad 3.32$$

$$m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 = m_1 v_1'^2 + m_2 v_2'^2 \qquad 3.33$$

где су: m_1 – маса веће, m_2 -маса мање лопте, v_1 - брзина веће лопте пре судара, v_2 - брзина мање лопте пре судара ($|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$), v_1' - брзина веће лопте после судара, v_2' - брзина мање лопте после судара.

За брзину мање, односно веће лопте после судара добијамо:

$$v_2' = \frac{(3-q)}{(1+q)}v \quad ; \quad v_1' = \frac{(1-3q)}{(1+q)}v \qquad 3.34$$

где је $q = \frac{m_2}{m_1}$.

За $q = \frac{1}{4}$ брзине би биле $v_2' = \frac{11}{5}v$ и $v_1' = \frac{1}{5}v$, што значи да би висина на коју одскочи мања лопта (без губитака енергије) била $h_2 = 121 h_1$.

Запажања

Овера:

3.2.5. КОЈИ НОВЧИЋ СКОЧИ ВИШЕ?

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- лењир или танка даска дужине 1,5 – 2 m
- два једнака новчића
- оловка
- држач летве (може бити направљен од метала, или књига...)

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Постави лењир на држач и близу краја лењира постави један новчић, а други на половину растојања између првог новчића и ослонца. Са друге стране (ближе ослонцу) постави оловку како би лењир стајао хоризонтално. Удари снажно руком лењир са оне стране са које је оловка. Посматрај шта се догађа са новчићима. Процени узајамни однос висина до којих су новчићи одскочили. Шта видиш? Висина до које одскочи новчић који је постављен даље од ослонца је четири пута већа од висине на коју одскочи новчић постављен ближе ослонцу.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Новчић који је постављен на крај лењира је на два пута већем растојању од ослонца од другог који је ближи ослонцу. Пошто је даска круто тело новчићи имају исту угаону брзину: $\omega = const$. Периферна брзина у општем случају:

$$v = \omega R \qquad 3.35$$

па је периферна брзина даљег новчића два пута већа од периферне брзине ближег новчића, те му је кинетичка енергија ($E_K = \frac{mv^2}{2}$) четири пута већа. На основу закона одржања енергије кинетичка енергија се претвара у потенцијалну ($E_P = mgh$) те ће и висина до које он одскочи бити четири пута већа:

$$R_2 = 2R_1 \rightarrow v_2 = 2v_1 \rightarrow E_{k2} = 4E_{k1} \rightarrow E_{p1} = 4E_{p2} \rightarrow h_2 = 4h_1 \qquad 3.36$$

Запажања

Овера:

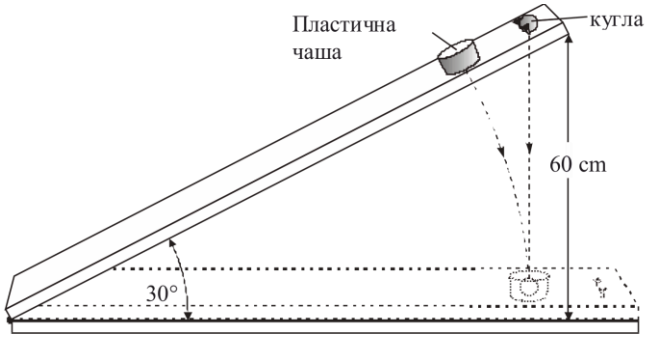
3.2.6. БРЖЕ ОД СЛОБОДНОГ ПАДА?

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- 2 даске димензија: 120 cm × 10 cm × 1,5 cm
- 2 шарке 2,5 cm × 4 cm
- масивна гвоздена куглица, пречника 2 cm
- пластична чаша (пречника ~ 5 cm)
- парче тканине димензија 15 cm × 50 cm
- лепљива трака

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Краће ивице две даске спој помоћу шарки, као што је приказано на слици. На врх даске постави металну куглу, а мало даље од ње учврсти пластичну чашу. Подигни горњу даску до висине од 60 cm. Пусти је да слободно пада и посматрај шта се догађа. Метална кугла упадне у пластичну чашу.



ОБЈАШЊЕЊЕ:

Даска има угаоно убрзање које је последица деловања силе Земљине теже у тачки тежишта која се, када је даска хомогена, налази на половини од укупне дужине даске $r = \frac{L}{2}$. Пошто је пад даске случај ротације крутог тела око непомичне осе свака тачка на њој има исто угаоно убрзање. То угаоно убрзање даје тачки која је више удаљена од осе ротације веће тангенцијално убрзање па крај даске описује кружну путању са убрзањем које је веће од убрзања Земљине теже. Зато метална кугла пада спорије, односно упадне у пластичну чашу.

Момент инерције даске у односу на осу ротације је $I = \frac{1}{3}mL^2$. Па се за вредност момента силе, $\vec{M}$, који делује на даску и убрзање угла, $\alpha = \ddot{\varphi}$, који из тога резултира добија:

$$M = rF_s = \frac{L}{2}mg\cos\varphi \qquad 3.37$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{M}{J} = \frac{3g}{2L}\cos\varphi \qquad 3.38$$

Тако се добија вредност убрзања краја даске:

$$a = \ddot{\varphi}L = \frac{3}{2}g\cos\varphi \qquad 3.39$$

$$a_{\text{y}} = a\cos\varphi = \frac{3}{2}g\cos^2\varphi \qquad 3.40$$

За $\cos\varphi \approx 1$ који се односи на мале углове φ:

$$a_{\text{y}} \approx \frac{3}{2}g \qquad 3.41$$

Запажања

Овера:

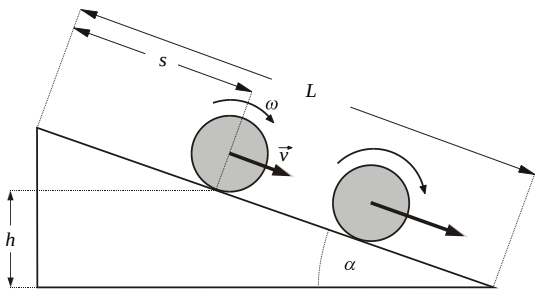
3.2.7. ТРКА КОНЗЕРВИ (КО ЈЕ БРЖИ СУПА ИЛИ ГРАШАК?)

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

•две конзерве исте масе истог облика и запремине

• конзерве треба да имају различит садржај, једна течан а друга компактан (на пример супа и грашак)

• даска дужине L, нагнута у односу на хоризонталну површину за угао $\alpha = 10^{o} - 20^{o}$



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Истовремено са врха даске пусти да се крећу обе конзерве и посматрај која је конзерва бржа:

- на нагнутој површини (супа)
- на равној површини (грашак)

Објаснити феномен користећи појмове: момент инерције, кинетичка енергија, потенцијална енергија, закон одржања енергије.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Обе конзерве имају исту масу, исти облик и запремину, исту почетну потенцијалну енергију, а различит момент инерције.

Истовремено се пусте обе конзерве са врха **нагнуте** површине - стрме равни.

Пошто је $h = \left(L - \frac{at^2}{2}\right)\sin\alpha$, на основу закона одржања енергије може се писати:

$$\frac{1}{2}M\ v^2 + \frac{1}{2}I\ \omega^2 + Mg(L - \frac{at^2}{2})\sin\alpha = const. \qquad 3.42$$

где је I - момнет инарције, v - брзина транслаторног кретања конзерви, a – убрзање и ω - угаона брзина. Ако нема проклизавања:

$$\omega = \frac{v}{r} \qquad 3.43$$

У случају:

Конзерве са чврстим садржајем (грашак) *Конзерве са течним садржајем (супа)*:

$$I = M\frac{r^2}{2} \qquad\qquad I = kMr^2 \qquad 3.44$$

где је k - коефицијент који се уводи због течног садржаја конзерве.

$$a = \frac{2}{3}g\sin\alpha \qquad\qquad a = \frac{g\sin\alpha}{1+k} \qquad 3.45$$

Обзиром да у случају течног садржаја (супа) ротира само део ближи зидовима конзерве коефицијент $k<1$ на нагнутој подлози конзерва са течним садржајем (супа) бржа је од конзерве са компактним садржајем (грашак).
На **хоризонталној** подлози због дела течности који не ротира, конзерва са течним садржајем има велико спољашње трење тако да практично застане и пусти да је конзерва са чврстим садржајем претекне.

Запажања

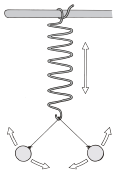
Овера:

3.2.8. КАКО РАДИ КЛИК – КЛАК

(Физичко клатно - клик-клак – осцилације - фреквенција)

Клик-клак који осцилује на опрузи, стално мења фреквенцију осциловања.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:



- 2 једнаке челичне куглице (d ~ 1 – 2 cm), по могућности са кариком
- опруга средње јачине
- конац
- лепљива трака

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

На две челичне кугле причврсти конац дужине ~5 cm тако што ћеш га провући кроз карике на куглама, или залепити лепљивом траком. Кугле окачи на опругу (види слику). Опругу треба држати за горњи крај руком. Ако се обе кугле усмере у супротним правцима, и потом пусте, осцилују као двоструко клатно - у супротним фазама. Ако при томе опруга мирује, онда се звук кугли - „клак“, чује у константним временским интервалима. Ако и опруга осцилује, звук се неће чути у једнаким временским интервалима. Ако се двоструко клатно са опругом помера на доле, онда времски интервали постају већи, а ако се помера на горе, онда су временски интервали краћи. Ова промена се може јасно чути. Осцилације опруге утичу на осцилације кугли. Металне кугле при судару губе енергију, тако да двоструко клатно неће дуго осциловати. Може се десити да се осцилације опруге пренесу на двоструко клатно и да оно знатно дуже осцилује, него када опруга мирује. Да би опруга осциловала узме се за горњи део и периодично помера лагано горе - доле, као код играчке jo-jo.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Време између два „клак“ звука зависи од феквенције, којом кугле осцилују:

$$f(a) = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{a}{l}} \qquad 3.46$$

где је f - фреквенција математичког клатна, l - дужина конца, a –убрзање кугле $a = g + a'$, g -гравитационо убрзање, a' - убрзање које дајемо кугли померањем опруге. Ако клатно осцилује на опрузи, сила која делује на клатно се мења периодично са осциловањем опруге, као и убрзање, a, које делује на клатно и фреквенција, f , клатна. Ако би се клатно налазило у слободном паду, (a = 0), онда не би осциловало, обзиром да би било у бестежинском стању.

Запажања

Овера:

4. ТЕЧНОСТИ

У овом делу је приказано 5 једноставних експеримената којима се демонстрирају неке особине течности. Експерименти 4.2.1-4.2.4 се могу прилагодити узрасту ученика и извести у седмом разреду основне школе када се ученици упознају са одређеним основним појмовима и појавама које су им основа за детаљније проучавање особина флуида у другом разреду гимназије. Ученици се у седмом разреду основне школе упознају са Архимедовим законом и изучавају понашање тела потопљеног у течности у зависности од густине тела и густине течности. Захваљујући једноставној процедури експеримената и могућности прилагођавања објашњења најмлађем узрасту ученика, експерименти 4.2.1, 4.2.3 и 4.2.4 се могу извести и у нижим разредима основне школе. Експеримент 4.2.5 захтева висок ниво схватања физичких појмова густине и силе потиска и добро познавање математичког апарата те је погодан за извођење у другом разреду гимназије.

4.1. Теоријски подсетник

4.1.1. Течности

Течност је супстанца која због интензитета међумолекулских привлачних сила има сталну запремину, али нема сталан облик, већ заузима облик суда у којој се налази.

Флуид је термин под којим се подразумевају течности и гасови. Карактеристике флуида су да притисак делује равномерно у свим правцима; да се крећу под утицајем разлике притисака; да пружају отпор при кретању. Ове карактеристике зависе од вискозности и густине флуида.

Гасови и паре су стишљиви и мењају запремину при промени притиска. Течности се могу сматрати нестишљивим - иста количина течности не мења своју запремину под утицајем притиска.

4.1.2. Густина

Густина (ρ) је дефинисана као маса (m) јединичне запремине (V):

$$\rho = \frac{m}{V}\left[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}\right] \qquad 4.1$$

Густина нестишљивих флуида се не мења.

4.1.3. Архимедов закон

На потопљено тело у течности делују са свих страна силе услед хидростатичког притиска. Резултанта свих сила назива се сила потиска и увек делује у вертикалном правцу са смером навише. Сила потиска, такође, делује и на сва тела која се налазе у неком флуиду – ваздуху или неком другом гасу.

На тело потопљено у течности (или гасу) делује вертикално навише сила потиска, која је једнака тежини течности (или гаса) истиснуте целим телом или оним делом тела који је потопљен:

$$F_p = mg \qquad 4.2$$

$$m = \rho_0 V \qquad 4.3$$

$$F_p = \rho_0 V g \qquad 4.4$$

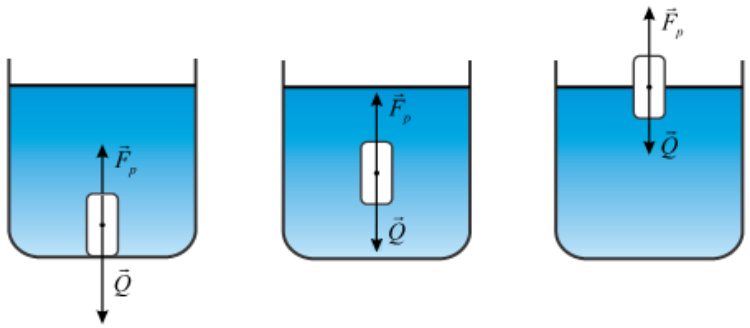
У векторском облику:

$$\vec{F}_p = -\rho_0 V \vec{g} \qquad 4.5$$

где је ρ_0 густина течности (или гаса), V је запремина зароњеног тела, $g = 9{,}81\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ је гравитационо убрзање.

4.1.4. Плута, тоне, лебди

Да ли ће тело које поставимо на површину воде плутати или ће тело зароњено у флуид лебдети у њему или ће испливати, или ће потонути на дно, зависи од односа силе теже и силе потиска које делују на тело. На наредној слици (слика 4.1.) је интензитет силе теже и силе потиска илустрован дужином стрелице.



а) $Q > F_p$ б) $Q = F_p$ в) $Q < F_p$

Слика 4.1. Тоне, лебди, плута

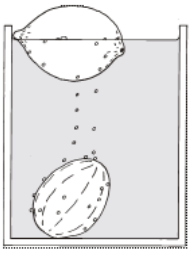
У случају где је сила теже већег интензитета од силе потиска тело ***тоне***, оно се нађе у равнотежи тек када падне на дно. Тело које ***лебди*** је у равнотежи на било којој дубини у течности јер су сила Земљине теже и сила потиска једнаког интензитета. Тело на које када се потопи у течности делује сила потиска већег интензитета од силе Земљине теже, ће испливати при чему се у граничном случају испливавања тела изнад површине течности смањује запремина дела тела потопљеног у течност што условљава смањење интензитета силе потиска. Када се интензитети силе Земљине теже и силе потиска изједначе тело се заустави и ***плута*** на површини течности.

4.2. Једноставни експерименти

4.2.1. ЛИМУН КАО ПОДМОРНИЦА

(густина – потисак - Архимедов закон)

Показати да то да ли тело плива или тоне зависи од средње густине.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- лимун или наранџа
- провидна посуда

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

У посуду напуњену водом стави лимун и посматрај шта се догађа. Лимун плива на површини воде.

Ако се лимун огули он потоне (мора се огулити и бела кожица, која се налази испод жуте коре). Објасни зашто се ово догађа.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

На основу Архимедовог закона (*Archimedes* 287-212 п.н.е.) на свако тело урођено у течност делује сила потиска, која је једнака тежини телом истиснуте течности. Већи део лимуна чини вода. Унутрашња страна лимуна поред биљних ћелија обухвата и много мехурића ваздуха. Ови мехурићи ваздуха смањују укупну густину лимуна, тако да је средња густина неогуљеног лимуна мања од густине воде. Због тога неогуљен лимун плива по површини воде. Ако се лимун огули ваздух напушта простор унутар лимуна, а обзиром да је густина ћелија лимуна веће од густине воде, он потоне!

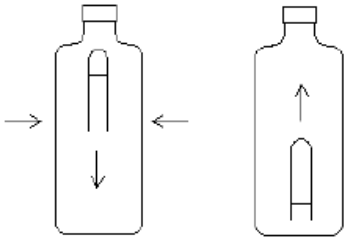
Запажања

Овера:

4.2.2. КАРТЕЗИЈАНСКИ ГЊУРАЦ

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- провидна боца од 2 l
- епрувета (дужине 10 – 15 cm, пречника 1,0 – 1,5 cm)
- обојена вода



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Боцу од 2 l до врха напуни водом.У епрувету сипај воду до ¼ њене запремине и постави је у боцу отвором нагоре. Доспи воду у епрувету све док њен врх не буде 1– 2 mm изнад отвора боце. Тако си одредио запремину ваздуха у епрувети, који ће заједно са епруветом бити унет у боцу. Благо стисни боцу да би епрувета мало испливала из ње, тако да можеш да је извадиш из боце. Поново напуни боцу до врха водом. Затвори отвор епрувете кажипрстом, окрени је отвором надоле и заједно са прстом урони у боцу. Дно епрувете треба да је поравнато са нивоом воде у боци да би апаратура добро функционисала. Епрувета није потонула. Зашто? Стави затварач на боцу. Апаратура је завршена. Стисни благо боцу. Шта видиш? Епрувета се креће надоле! Ако попустиш стисак она се креће нагоре. Објасни!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Када се епрувета са ваздухом постави у боцу са отвором надоле она неће потонути, зато што је сила потиска воде која на њу делује већа од силе Земљине теже. Када се благо стисне боца ствара се притисак на воду, а на тај начин и на ваздух у епрувети. Пошто је вода мање стишљива од ваздуха, ваздух у епрувети се сабија и његова запремина се смањује. По Архимедовом закону ако се смањи запремина тела урођеног у течност, смањи се и сила потиска. Сила потиска постаје мања од силе теже која делује на епрувету па се епрувета креће надоле. Када се смањи притисак на боцу, повећава се запремина ваздуха у епрувети, повећава се сила потиска па она надјача силу теже и епрувета се креће нагоре. На објашњеном принципу „ради“ рибљи мехур. То је начин на који рибе мењају дубину.

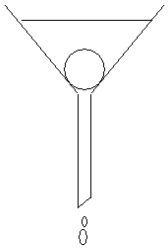
Објашњење експеримента се може дати и на други начин, ако се као тело посматра епрувета и вода и ваздух који испуњавају њену запремину, у том разматрању сила потиска се не мења али сила теже када вода уђе у епрувету постаје већа.

Запажања

Овера:

4.2.3. ПИНГ ПОНГ ЛОПТИЦА У ЛЕВКУ

(*потисак - сила теже - притисак - хидростатички притисак*)



У овом експерименту се објашњава потисак у течностима.

ПОТЕРЕБАН И МАТЕРИЈАЛ:

• провидан левак
• пинг понг лоптица
• вода и посуда за прихватање течности (мала када, лавабо или нешто слично)

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Стави пинг понг лоптицу у левак. Левак држи изнад посуде и сипај воду у њега. Лоптица неће пливати на површини него остаје на дну левка (види слику). У зависности од тога како лоптица затвара левак већа или мања количина воде ће истицати из њега. Затвори доњи крај левка прстом. Лоптица ће искочити на површину воде. Објасни!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Када је левак отворен, вода може да истиче из њега, а лоптицу притиска слој воде изнад ње и не дозвољава јој да исплива на површину. Када се отвор левка затвори прстом, вода напуни доњи део левка, те је лоптица са свих страна окружена водом. Вода врши притисак на лоптицу са свих страна и у том случају на лоптицу делује сила потиска, која је избаци на површину воде.

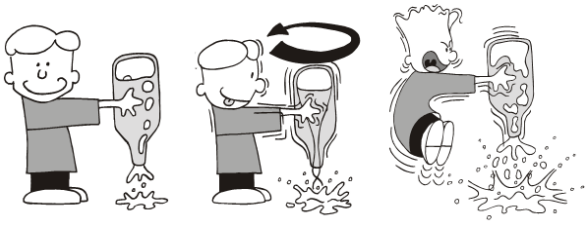
Запажања

Овера:

4.2.4. КАДА ВОДА НАЈБРЖЕ ИСТИЧЕ?

(атхезија - вртлог - ротација - непогода)

Коришћењем воденог вртлога могуће је пуну флаша воде брже испразнити.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:
- празна флаша
- канта за воду

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:
Напуни флашу водом до врха и испразни је држећи је изнад канте за воду, тако да вода у пуном млазу излази из флаше. Понови експеримент тако што ћеш флашу пуну воде, држећи отвор затворен прстом окренути и завртети у круг око вертикалне осе. Заустави кружење и истовремено пусти да вода истиче из флаше. Посматрај шта се догађа. Да ли ће се флаша брже испразнити?

ОБЈАШЊЕЊЕ:
Како вода истиче из флаше у флашу улази ваздух. Ако флаша стоји мирно, ваздух у облику мехура улази у њу.
Ако се флаша заврти у круг вода у њој прави вртлог, односно адхезионе силе подижу слојеве уз зид флаше приликом ротације. Као у центрифуги вода се приликом ротације, залепи за зидове флаше. Формира се спирала, при чему капи које напуштају флашу имају радијалну компоненту брзине. Кроз овај вртлог сличан торнаду у средини се образује део без воде, кроз који може ваздух да продре у флашу. На тај начин вода и ваздух и ако се налазе на различитим странама доприносе бржем истицању воде из флаше.

Запажања

Овера:

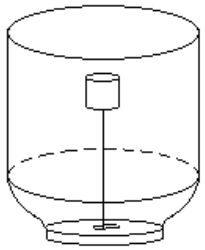
4.2.5. КУДА ИДЕ ПЛУТАНИ ЧЕП?

(сила – убрзање – потисак - густина - II Њутонов закон)

Помоћу плутаног чепа у води, могуће је одредити смер убрзања.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- провидна тегла са поклопцем
- плутани чеп
- канап
- лепљива трака



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Пробуши плутани чеп дуж вертикалне осе, провуци канап и на једном крају завежи чвор. Други крај канапа причврсти за унутрашњу страну поклопца. Напуни теглу до врха водом и потом је добро затвори. Окрени теглу тако да чеп плута у води (види слику). Нагло покрени теглу у једном правцу, и посматрај при том чеп. Чеп ће се кретати у истом смеру као и твоја рука! Приликом наглог заустављања, чеп се креће у супротном смеру од смера кретања руке – уназад! Окрећи се заједно са теглом коју држиш у висини очију у круг, око своје осе. Чеп ће се кретати ка твом лицу, односно ка центру кружнице.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

На чеп који се налази у води делује сила потиска $\vec{F}_p$:

$$\vec{F}_p = -V\rho_0\vec{g} \qquad 4.6$$

где је V - запремина чепа потопљеног у воду, ρ_0 - густина воде, $\vec{g}$ - убрзање Земљине теже. На основу II Њутновог закона је:

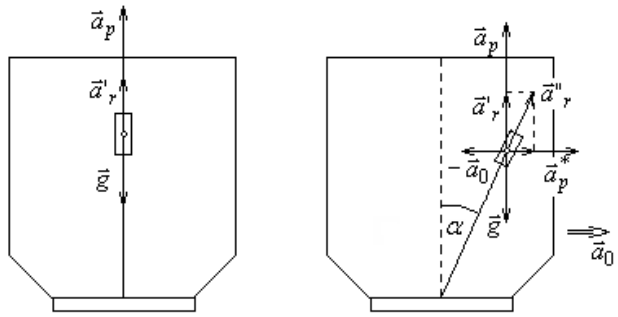
$$\vec{F}_p = m\vec{a}_p = V\rho\vec{a}_p \qquad 4.7$$

где је ρ - густина плутаног чепа, $\vec{a}_p$ - убрзање које чепу саопштава сила потиска.

Када се изједначе два записана израза за силу потиска добија се:

$$\vec{a}_p = -\frac{\rho_0}{\rho}\vec{g} \qquad 4.8$$

Ако чеп мирује (приказано на слици 4.2. лево), на њега делује сила Земљине теже, сила затезања канапа и сила потиска, и ове три силе су у равнотежи (резултујућа сила је једнака нули).



Слика 4.2. Силе које делују на плутани чеп када тегла мирује или се креће равномерно и када се креће убрзано

С обзиром да је за чеп $\rho_0 > \rho$, смер укупног убрзања, које чепу саопштавају сила теже и сила потиска, је нагоре:

$$\vec{a}'_r = \vec{g} + \vec{a}_p = \vec{g}(1 - \frac{\rho_0}{\rho}) \qquad 4.9$$

где је $\vec{a}'_r$ - резултујуће убрзање које чеп добија када тегла мирује, које не изазива кретање чепа навише, јер ту силу уравнотежава сила затезања канапа.

Ако се тегла нагло покрене (слика 4.2. десно), она ће имати неко убрзање $\vec{a}_0$ и представљаће неинерцијални систем. На сва тела у таквим системима референције делује убрзање супротно од смера убрзања система (а истог интензитета) – инерцијално убрзање ($-\vec{a}_0$).

На исти начин, како услед гравитације (гравитационог убрзања Земље) на чеп делује сила потиска вертикално навише, услед инерцијалног убрзања ($-\vec{a}_0$) на чеп делује „хоризонтална сила потиска“ супротног смера од смера инерцијалног убрзања, односно усмерена исто као убрзање неинерцијалног система. Дакле:

$$\vec{F}_p^* = -V\rho_0(-\vec{a}_0) = V\rho\vec{a}_p^* \qquad 4.10$$

одакле је убрзање које чепу саопштава „хоризонтална сила потиска“ која делује на њега:

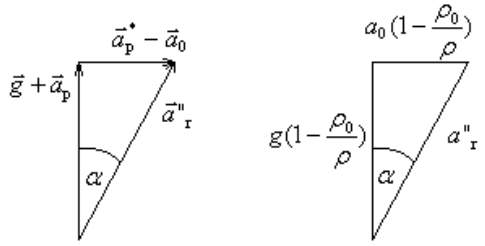
$$\vec{a}_p^* = \frac{\rho_0}{\rho}\vec{a}_0 \qquad 4.11$$

где је $\vec{a}_0$ - убрзање саопштено тегли.

Тако, ако се тегла нагло помери удесно неким убрзањем, чеп добија поред инерцијалног убрзања ($-\vec{a}_0$) и убрзање $\vec{a}_p^*$ у супротном смеру. И у случају када се тегла креће убрзано на чеп делује навише резултујуће убрзање, које је одређено у случају када тегла мирује, које износи $\vec{a}'_r = \vec{g} + \vec{a}_p$. Укупно резултујуће убрзање је сада, када се укључи и инерцијално убрзање ($-\vec{a}_0$) и сила потиска која је резултат њеног деловања и чепу саопштава убрзање $\vec{a}_p^*$:

$$\vec{a}''_r = \vec{a}'_r - \vec{a}_0 + \vec{a}_p^* \qquad 4.12$$

и заклапа угао α са вертикалом.



Слика 4.3. Резултујуће убрзање плутаног чепа

Пошто је:

$$\vec{a}_p^* - \vec{a}_0 = (\frac{\rho_0}{\rho} - 1)\vec{a}_0 \qquad 4.13$$

и за чеп је $\rho_0 > \rho$, смер укупног убрзања је исти као и смер убрзања тегле. Даље се може написати да је:

$$\vec{a}_p^* - \vec{a}_0 = (\frac{\rho_0}{\rho} - 1)\vec{a}_0 = -(1 - \frac{\rho_0}{\rho})\vec{a}_0 \qquad 4.14$$

где минус говори само о смеру и уколико се не говори о векторима може се изоставити.

На основу слике могу се написати релације:

$$\frac{g(1-\frac{\rho_0}{\rho})}{a''_r} = \cos\alpha \text{ и } \mathrm{tg}\alpha = \frac{a_0(1-\frac{\rho_0}{\rho})}{g(1-\frac{\rho_0}{\rho})} = \frac{a_0}{g} \qquad 4.15$$

односно:

$$a_0 = g\ \mathrm{tg}\alpha \qquad 4.16$$

Мерењем угла отклона канапа α, могло би се одредити убрзање неинерцијалног система.

Запажања

Овера:

5. ТОПЛОТА

У овом делу је приказано 11 једноставних експеримената којима се демонстрирају топлотне појаве. Објашњења експеримената од редног броја 5.2.1-5.2.7 се могу прилагодити узрасту ученика и извести у седмом разреду основне школе. Приликом извођења ових експеримената са ученицима основне школе, пошто процедуре неких експеримената захтевају да се рукује са изворима топлоте, посебна пажња мора да се посвети безбедности. Објашњења наведених експеримената на вишем нивоу и експерименти под редним бројевима од 5.2.8-5.2.11 се могу дати у другом разреду гимназије када ученици имају неопходно предзнање из физике.

5.1. Теоријски подсетник

5.1.1. Температура и топлота

Температура је мера унутрашње енергије тела. За тела чије температуре су једнаке се каже да су у топлотној равнотежи. За изражавање температуре се користе различите температурне скале – Фаренхајтова, Реомирова, Целзијусова, Келвинова скала апсолутне температуре:

$$T = 273{,}16 + t\,[^{\circ}C]\ [\mathrm{K}] \qquad 5.1$$

Топлота је вид енергије. То је део унутрашње енергије који може да прелази са једног тела на друго.

5.1.2. Топлотни капацитети

Специфични топлотни капацитет, односно масена количина топлоте, је топлота коју треба довести телу јединичне масе да би му се температура повећала за један степен:

$$c = \frac{\Delta Q}{m\Delta t}\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg\,K}}\right] \qquad 5.2$$

Моларни топлотни капацитет је топлота коју треба довести телу јединичне количине супстанције да би му се температура повећала за један степен:

$$c_n = \frac{\Delta Q}{n\Delta t}\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol\,K}}\right] \qquad 5.3$$

Топлотни капацитет тела је количина топлоте коју треба довести телу да би му се температура повисила за јединичну вредност:

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta t}\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}\right] \qquad 5.4$$

Агрегатно стање супстанције (чврсто, течно, гасовито, плазма) зависи од односа термалне енергије честица и енергије међучестичних интеракција. Промене агрегатних стања се називају ***фазни прелази***. Те промене се манифестују наглом

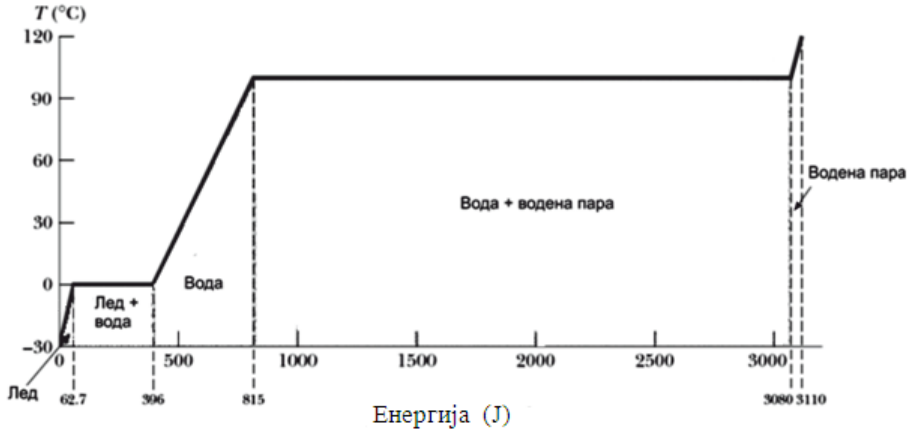
променом једне (или више) физичко-хемијских особина, у зависности од промене неке од функција стања (на пример, температура или притисак).

Табела

Фазне промене

Почетно стање	**Крајње стање**			
	Чврсто	**Течно**	**Гасовито**	**Плазма**
Чврсто		Топљење	Сублимација	
Течно	Мржњење/Очвршћавање		Испаравање	
Гас	Ресублимација	Кондензација		Јонизација
Плазма			Рекомбинација јона	

Приликом фазног прелаза услед довођења или одвођења топлоте мења се унутрашња енергија тела и долази до промене агрегатног стања (чврсто - течно - гасовито), али без промене температуре тела. Приликом промене агрегатног стања, било да супстанца прима топлоту, било да је ослобађа, температура се не мења.



Слика 5.1. Фазни прелази

Латентна топлота је топлота ослобођена или апсорбована приликом промене агрегатног стања (фазног прелаза) јединичне масе супстанце:

$$\lambda = \frac{\Delta Q}{m}\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}}\right] \qquad 5.5$$

5.1.3. Преношење топлоте

Преношење топлоте са једног на друго тело се одвија спонтано, увек са топлијег на хладније тело.

Разликују се три начина преноса топлоте:

1. ***Провођење*** је преношење топлоте директно кроз материјал при чему не долази до премештања делића (саставних делова материјала) чијом интеракцијом се оно одвија.

   Количина топлоте ΔQ која се провођењем преноси кроз материјал у облику шипке зависи од: времена провођења $\Delta\tau$, разлике температура (t_2–t_1), површине попречног пресека S и дужине шипке L:

$$\Delta Q = \lambda S \frac{t_2 - t_1}{L} \Delta \tau \qquad 5.6$$

где је λ коефицијент топлотне проводљивости и $\frac{t_2 - t_1}{L} = \frac{\Delta t}{\Delta x}$ - градијент температуре.

2. ***Конвекција (струјање)*** је преношење топлоте путем покретања (струјања) топлог материјала (флуида).
   Количина топлоте ΔQ коју површина S прими или преда конвекцијом у току времена $\Delta\tau$, ако је између површине и флуида разлика температура Δt, износи:
   $$\Delta Q = hS\Delta t\ \Delta\tau \qquad 5.7$$
   где је h – коефицијент конвекције.

3. ***Зрачење*** је преношење топлоте без директног контакта, емисијом електромагнетног топлотног зрачења.
   Количина топлоте ΔQ која се путем зрачења емитује од стране апсолутно црног тела сразмерна је времену емитовања $\Delta\tau$, површини S, али и емисионој способности (моћи) тела, која је сразмерна T^4:
   $$\Delta Q = \sigma T^4 S \Delta \tau \qquad 5.8$$
   где је σ=5,7·10−8 W/m^{2}K^4 Штефан-Болцманова константа.

5.1.4. Термичко ширење

Тела мењају своје димензије са повећањем температуре. Експериментално је утврђено да је издужење Δl металне шипке дужине l при загревању, при повећању температуре за ΔT, сразмерно дужини шипке пре загревања и промени температуре:

$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T \qquad 5.9$$

где је α -коефицијент линеарног термичког ширења, који на пример за бакар износи $\alpha = 16{,}8 \cdot 10^{-6} K^{-1}$.

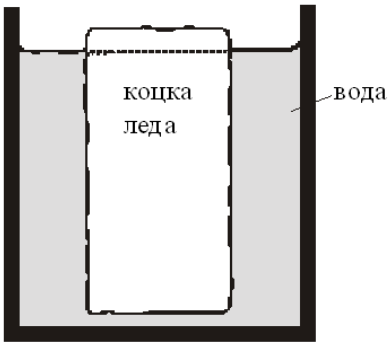
Ако је тело у облику танке плоче, при промени температуре му се мења површина. У том случају је коефицијент сразмерности коефицијент површинског термичког ширења. Ако су све димензије тела приближно истог реда величине тада при промени температуре долази до сличне промене свих димензија тела и у том случају се одређује промена запремине тела, а коефицијент сразмерности је коефицијент запреминског термичког ширења.

5.2. Једноставни експерименти

5.2.1. КАКО СЕ ЛЕД ТОПИ?

(потисак - сила теже - плива, лебди, тоне - топљење)

Када се комад леда истопи, ниво воде у чаши остаје исти!



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- већи комад леда или неколико коцки леда
- чаша и тањирић којим се чаша може поклопити

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

У чашу стави што је могуће већи комад леда и сипај воду све док лед не почне да плива. Обележи ниво воде у чаши пре и после топљења леда. Да испаравање воде не би утицало на ниво воде у чаши, чашу за време топљења покриј тањирићем.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Лед на температури од 0 °C има мању густину од воде на истој температури:

$$\rho_{\text{leda}} = 0{,}917\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_{\text{vode}} = 0{,}999\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Због тога комад леда плива у води (види слику). У идеалном случају из воде вири део леда квадратног облика висине:

$$\Delta h = h_{\text{l}} - h_{\text{v}} = h_{\text{l}}\left(1 - \frac{\rho_{\text{l}}}{\rho_{\text{v}}}\right) \sim \frac{1}{12} h_l \,. \qquad 5.10$$

У случају када тело плута по површини воде сила теже која делује на тело, $\vec{G}$, и сила потиска, $\vec{F}_{\text{A}}^{*}$, су истог интензитета ($\vec{G} = -\vec{F}_{\text{A}}^{*}$). Величина силе потиска $\vec{F}_{\text{A}}^{*}$

одговара тежини $\vec{Q}*$ истиснуте воде запремине дела тела потопљеног у воду V_v . Пошто су сила теже која делује на цео комад леда, $\vec{G}$, и тежина целог комада леда $\vec{Q}$ једнаког интензитета, онда тежина целог комада леда $\vec{Q}$ одговара тежини $\vec{Q}*$ истиснуте воде запремине V_v . То значи да је у комаду леда садржана тачно она маса воде у чврстом агрегатном стању, која у течном агрегатном стању испуњава запремину V_v . Ако се истопи комад леда, ниво воде ће остати исти као и пре топљења.

Напомена:

Код овог експеримента је важно, да комад леда стварно плива. Ако се више комада леда, који су један на другом, или један комад леда ставе у толико мало воде, да остају на дну чаше, онда ће се ниво воде у чаши променити. Зато је најпогодније узети један велики комад леда или више коцки леда, које тачно могу да стану у чашу или на пример породично паковање сладоледа од пластике, и да пливају једна поред друге. У оба случаја површина воде у односу на њену висину у суду, би требало да буде толико мала да се свака промена нивоа може приметити.

Запажања

Овера:

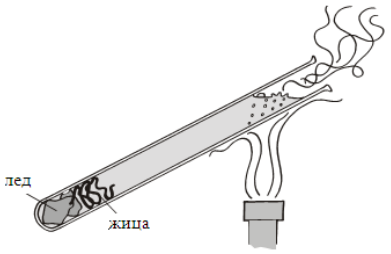
5.2.2. ПРОВОЂЕЊЕ ТОПЛОТЕ КРОЗ ВОДУ

(проводљивост - конвекција)

Ако се епрувета напуни водом, део воде на горњој страни епрувете се загревањем може довести до кључања, док се на супротном крају истовремено налази лед!

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Епрувета
- Вода и комадићи леда
- Жица која се може савијати како би се лед могао фиксирати у епрувети
- Бунзенов пламеник, или свећа



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

У доњој трећини епрувете жицом причврсти комадиће леда, тако да лед не исплива на површину кад се епрувета напуни водом. Сипај воду у епрувету, епрувету мало нагни и горњу трећину држи непосредно изнад пламена, као на слици. Доњу трећину држи руком, без бојазни да ћеш се опећи. После одређеног времена у горњем делу епрувете вода ће прокључати, док се лед у доњем делу епрувете неће знатније истопити.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

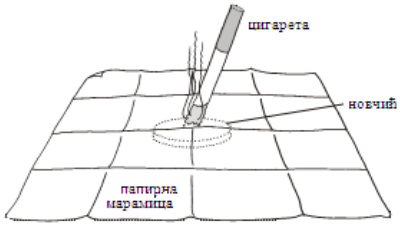
Вода није добар проводник топлоте. Уколико се горњи крај епрувете загрева, због слабог транспорта топлотне енергије, вода на дну се скоро и не загрева. Због тога када вода на врху епрувете прокључа, лед на дну епрувете се не истопи. Међутим уколико се грејач налази на доњем делу епрувете, услед конвекције, топла вода се пење према површини потискујући хладну воду на доле, где се и она загрева. На тај начин се слојеви воде на површини могу довести до кључања.

Запажања

Овера:

5.2.3. НИКАД ВИШЕ РУПЕ ОД ПАЉЕЊА!

(*проводљивост топлоте - топлотна равнотежа - коефицијент проводљивости*)
Пореди се проводљивост топлоте метала са проводљивости топлоте стиропора.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Папирна марамица, новчић и комад стиропора
- Шибица или упаљач и цигарета

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

На сто стави новчић и преко њега слој папирне марамице. На новчићу, који се назире испод папирне марамице, угаси упаљену цигарету. Марамица неће изгорети, али ће новчић бити веома топао. Овај експеримент поново изведи тако да уместо новчића испод марамице ставиш комад стиропора. Гашењем цигарете ће се у овом случају направити рупа у марамици.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Топлота се увек проводи у смеру супротном од градијента температуре, што је градијент већи провођење топлоте је боље. Густина топлотног струјања дата је изразом:

$$\vec{j} = -\lambda \cdot \mathrm{grad}T \qquad 5.11$$

где је T- апсолутна темература, λ- коефицијент топлотне проводљивости, $gradT = \Delta T / l$. Брзина преношења топлоте директно је пропорционална коефицијенту топлотне проводљивости, λ, који зависи од материјала. За метал λ је веће него за стиропор, што значи да метал за исто време проведе већу количину топлоте него стиропор. Марамица којом је прекривен новчић практично не стигне да се запали зато што новчић брзо одведе топлоту. Стиропор међутим далеко слабије проводи топлоту и марамица ће се запалити.

Коефицијенти проводљивости топлоте неких материјала

Материјал	Полиестар	Стакло	Дрво	Гранит	Папир	$CuNi_5$	$CuNi_{30}$
λ [WmK^{-1}]	0,0384	0,059	0,117	3	0,14	0,46	0,251

Због знатно веће проводљивости топлоте ако додирнемо метал он ћа нам се чинити хладнијим од дрвета које има исту температуру.

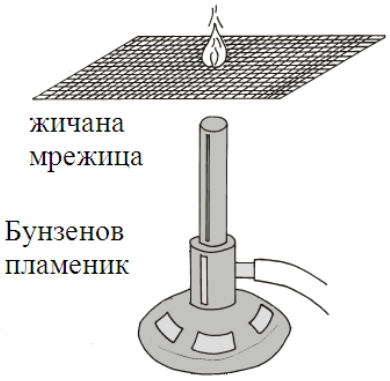
Запажања

Овера:

5.2.4. ЛЕБДЕЋИ ПЛАМЕН

(проводљивост топлоте - температура паљења)

На основу закона проводљивости топлоте кроз метале, пламен Бунзеновог пламеника не може да прође кроз жичану мрежу!



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Бунзенов пламеник или упаљач
- Ситна жичана мрежа
- Клешта

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Фину жичану мрежу држи клештима и приближавај одозго пламену Бунзеновог пламеника. Пламен не може да прође кроз мрежу, и гори само испод ње. Померај жичану мрежу до цевчице из које излази плин, при том ће пламен постајати све мањи и када се жичана мрежа стави тачно на цевчицу угасиће се.

Други облик експеримента: одврне се Бунзенов пламеник, али се плин не запали. Ако се жичана мрежа држи неколико центиметара изнад цеви за плин и ако се плин запали изнад мреже, онда ће горети само изнад мреже (види слику).

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Плин који је запаљив може да прође кроз омче жичане мреже, али пламен не, пошто метал на основу своје високе проводљивости одводи топлоту пламена. Тако је, у првом случају, температура изнад жичане мреже испод температуре запаљивости плина.

У другом случају, запаљив плин Бунзеновог пламеника пролази кроз омчице жичане мреже и може се запалити изнад мреже. Метал одводи топлоту пламена, тако да је топлота испод мреже нижа од температуре запаљивости плина.

1815. године енглески хемичар *Хамфри Дејви* (Humphry Davy, 1778-1829) је искористио ову особину за конструкцију сигурносне лампе за рударе, која је по њему добила име. Опасност од експлозија, због угљенмоноксида који се налази у окну, је спречена двоструком жичаном мрежом која се налази око лампе. Угљенмоноксид, који је запаљив, могао је да уђе у лампу, али је паљење плинова изван лампе спречено.

Запажања

Овера:

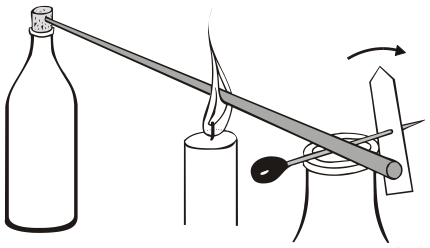
5.2.5. ИЗДУЖЕЊЕ ЖИЦЕ

(линеарно термичко ширење - коефицијент линеарног ширења)

Помоћу жице се може показати да се чврста тела приликом загревања шире.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- жица дужине ~ 50 cm
- 2 велике, празне винске боце исте величине
- чеп, чиоде и парче папира или картона
- свећа или Бунзенов пламеник



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Један крај жице стави у горњи део чепа на празној винској боци, а други крај постави на чиоду, која лежи на грлићу друге празне боце (види слику). Картон исечен у облику казаљке причврсти на чиоду. Ако се испод тако постављене жице постави свећа, или Бунзенов пламеник, и ако се један део жице загрева, онда ће се папирна казаљка окренути тако, да ће њен горњи део скретати у правцу супротном од извора топлоте.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Приликом загревања долази до термичког ширења жице. Због односа пречника и дужине жице, овакво ширење може се сматрати линеарним термичким ширењем. Промена дужине жице региструје се променом положаја казаљке. Ако чиода има радијус пресека ~ 0,5 mm и ако је размак од врха казаљке до центра чиоде 5 cm, онда врх казаљке при промена дужине жице од 1 cm, прави кружни лук дужине 10 cm (уколико жица не клизи преко чиоде). Линеарно ширење тела приликом загревања, мора се узети у обзир приликом постављања железничких или трамвајских шина, или градње мостова. Да због температурних разлика не би дошло до нежељених деформација шина, као и спречавања истезања, дуж пруга се уграђују фуге за ширење, у којима се материјали могу ширити.

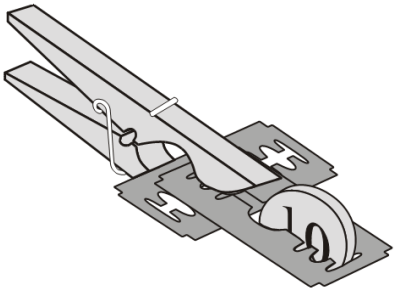
Запажања

Овера:

5.2.6. ЗАШТО НОВЧИЋ ПАДА?

(*термичко ширење – коефицијент термичког ширења*)

Уз помоћ два жилета могуће је посматрати особине новчића приликом загревања и хлађења!



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- два жилета
- новчић
- штипаљка за веш, или клешта
- Бунзенова лампа или свећа
- посуда (пречника 20 cm и висине 10 cm)

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Учврсти два жилета штипаљком за веш тако да је дужина отвора који жилети образују једнака пречнику новчића и да новчић може да падне кроз отвор, види слику. Новчић загреј држећи га клештима изнад пламена. Када загрејеш новчић он неће испасти кроз отвор жилета. Ако жилете заједно са новчићем ставиш у посуду са хладном водом, после краћег времена новчић ће пасти!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Гвожђе има коефицијент термичког ширења $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}\ \frac{1}{\mathrm{K}}$. Ако је пречник новчића на пример d = 21 mm, а температура се повиси за $\Delta T \approx 500\ \mathrm{K}$, промена пречника новчића је $\Delta d = \alpha\, d\, \Delta T \approx 0{,}13\ \mathrm{mm}$. Ово повећање пречника не дозвољава новчићу да падне и он остаје заглављен у отвору жилета. Ако се жилет са новчићем стави у посуду са хладном водом, новчић се скупља, пречник достиже првобитну вредност и новчић пада.

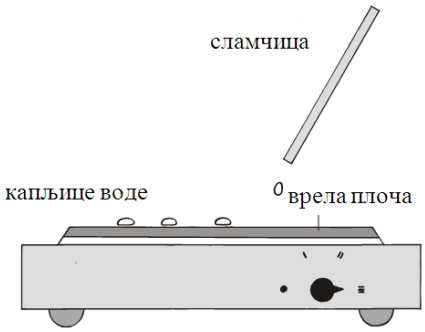
Запажања

Овера:

5.2.7. СКАКУТАВЕ ВОДЕНЕ КАПЉИЦЕ

(испаравање – водена пара)

Водена пара не дозвољава испаравање капљица воде са загрејане плоче!



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- решо
- пипета или сламчица

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Пусти капљице воде да падају на загрејану плочу решоа. Ако је плоча на температури од 100 °C, капљице воде ће испаравати. Међутим, ако је плоча на температури ~140 °C капљице неће одмах испарити (види слику). Оне одскачу, горе – доле, од вреле плоче и полако се смањују.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

На 140 °C између плоче и капи настаје толико паре, да пара водене капљице понесе са собом увис изнад плоче и зато оне одскачу од ње. То траје дотле док капљице потпуно не испаре. Због масе великих капи пара њих не понесе увис, него оне лебде у настајућој пари. Због слоја настајуће паре се мало топлоте са плоче преноси на капи, тако да се вода великих капи споро загрева, односно њена температура се одржава. Зато оне лебде изнад загрејане плоче дуже време. Ако је температура плоче виша од 200 °C, велике капи ће лебдети чак неколико минута изнад плоче.

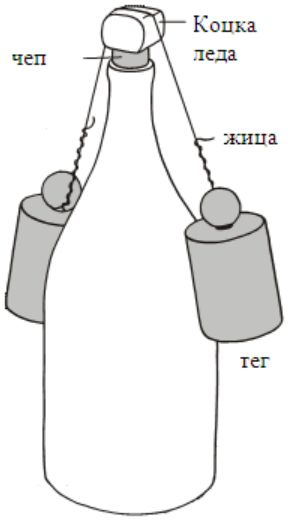
Запажања

Овера:

5.2.8. ЖИЦА КОЈА „СЕЧЕ“ ЛЕД!

(*топљење – тачка топљења – притисак – коефицијент топљења – Клаузијус-Клапејронова једначина*)

Жицом је могуће лако исећи лед!



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- коцка леда
- метална жица (пречник ~ 0,2 mm; дужина ~ 20 cm)
- 2 тега од по 1 kg
- празна флаша са чепом

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Постави чеп у грлић боце и за њега причврсти коцку леда. На крајеве жице дужине око 20 cm, причврсти тегове и жицу стави преко коцке леда, пазећи да се лед не смрви. Можеш видети да жица неће пресећи лед на два дела, него ће проћи кроз лед до чепа флаше а лед ће и после тога бити у једном комаду!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Температура топљења материјала зависи од притиска. Када се на коцку леда постави жица са теговима, она се топи на месту где жица врши притисак на лед. Међутим вода која настаје одмах се замрзава и спречава пресецање коцке леда. Температура топљења леда опада са порастом притиска. Жица оптерећена теговима снажно притиска лед и испод ње је температура топљења леда нижа него у осталом делу коцке. Лед испод жице се топи и омогућује дубље продирање жице у њега, док се настајућа вода изнад жице одмах замрзава. То што део жице није у леду него у околном топлијем ваздуху омогућује још брже пресецање коцке леда.

Снижавање тачке топљења леда повећањем притиска значајно је за клизање на леду. Због мале површине шина повећава се притисак клизача на лед. Повећан притисак доводи до снижавања тачке топљења леда непосредно испод клизаљки и

образовања танког воденог филма, који, на неки начин, служи као течност за подмазивање. Имајући у виду да се тачка топљења снижава само за 0,0075 K при повећању притиска за 1 bar, онда је јасно да овакво образложење није довољно!

Бројна вредност снижавања тачке топљења леда може се добити на основу Клаузијус-Клапејронове (Clausius–Clapeyron) једначине:

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}p} = \frac{T(V_1 - V_2)}{\mu\Lambda} \qquad 5.12$$

где је: Λ - топлота топљења по молу, T - апсолутна температура топљења, $\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}p}$ - градијент температура, V_1, V_2 - запремине у течном и чврстом стању, μ - количина супстанције.

Ако се запремина воде при замрзавању повећа за око 9%, разлика $V_1 - V_2$ је негативна, а у складу стим и $\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}p}$, што значи да тачка топљења опада са повећањем притиска. Са вредностима $\Lambda = 6030\ \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{mol}}$, $T = 273\,\mathrm{K}$, $V_1 = 1{,}00\ \mathrm{l}$, $V_2 = 1{,}09\ \mathrm{l}$ и $\mu = 55{,}5\,\mathrm{mol}$ добија се бројна вредност снижавања тачке топљења за 0,0075 K при повећању притиска за 1 bar.

Запажања

Овера:

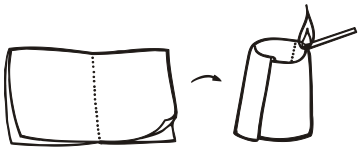
5.2.9. ЛЕТЕЋА САЛВЕТА

(*густина - потисак - конвекција*)

Остаци папирне салвете се због струјања ваздуха подижу увис.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Танка папирна салвета или танка папирна марамица
- Шибице или упаљач
- Ватростална подлога



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Што је могуће тању папирну салвету обликуј у облику цилиндра, као што је приказано на слици. Стави је на ватросталну подлогу и на горњој ивици цилиндра запали истовремено неколико места. Пошто салвета довољно изгори, њени остаци се подижу увис.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Приликом сагоревања салвете, ваздух у њеној близини се загрева и заједно са гасовима који настају приликом сагоревања, због мање густине подиже увис. Због тако насталог потпритиска према салвети струји хладан ваздух, који се загрева и описани поступак се понавља. На тај начин се салвета која гори налази на крају потискујуће ваздушне струје. Пошто при сагоревању салвете остају лаки делићи пепела, они ће на крају сагоревања бити довољно лаки да их ваздушне струје потисну увис.

Напомена:

Да би експеримент успео салвета мора бити што је могуће лакша и мора да добро гори. Ако је направљена од више слојева, може се узети само један слој, а ако се салвета покаже као претешка може се узети папирна марамица, или празна кесица од чаја. Поред ватросталне подлоге, пожељно је експеримент извести у затвореној ватросталној посуди. Ако се остаци пепела или папира подигну, онда то чине брзо и веома високо!

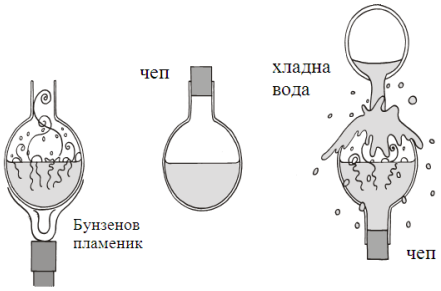
Запажања

Овера:

5.2.10. ВОДА КЉУЧА ИСПОД 100 °C

(притисак - атмосферски притисак - притисак паре - температура кључања)

Смањењем притиска у затвореном суду, вода може да кључа на температуре нижој од 100°C.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Ватростална, стаклена посуда која се може затворити (епрувета или балон)
- Чеп који одговара посуди
- Бунзенов пламеник

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Стаклену посуду до пола напунити с водом. Изнад Бунзеновог пламеника воду довести до кључања. Када водена пара потисне зрак из посуде, посуду скинути с пламена и затворити је чепом. Вода у посуди ће се мало охладити и престати да кључа. Ако преко затворене посуде сипа хладна воде, вода у посуди ће поново почети да кључа.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Вода у посуди кључа, када је притисак паре једнак притиску који се налази изнад воде. Ако стаклена посуда није затворена, на воду делује атмосферски притисак. Ако је притисак 1013 mbar вода кључа на 100 °C. Ако је притисак изнад воде нижи од атмосферског, вода кључа на нижој температури. Смањење притиска се постиже на следећи начин: ваздух у затвореној боци се охлади водом, честице ваздуха се крећу спорије и притисак је мањи. Ако се притисак смањи, вода поново кључа на нижој температури.

Запажања

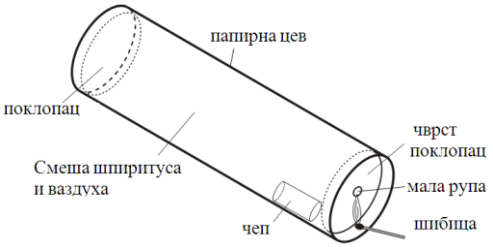
Овера:

5.2.11. МОТОР СА УНУТРАШЊИМ САГОРЕВАЊЕМ

(*енергија – хемијска, унутрашња и кинетичка – први принцип термодинамике*)
Експлозија гасне смеше у папирној ролни представља пример претварања енергије.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- шило или неки шпицаст предмет
- упаљач или шибица
- ролна папира (пречник~5-10 cm; дужина~ 30-50 cm) са поклопцем који добро дихтује
- шпиритус или бензин, плутани чеп



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

На крај папирне ролне постави добро дихтујући поклопац са рупом од око 5 mm у средини. Пре него што затвориш други крај, убаци помоћу шприца око 2 ml шпиритуса (или бензина) и чеп у ролну. Чеп служи само зато да побољша мешање присутних гасова. Потом принеси пламен отвору поклопца (види слику). Поклопац ће са праском полетети кроз простор, при чему се мора пазити да поклопац не буде од чврстог материјала и не погоди посматраче.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Сагоревањем шпиритуса или бензина, хемијска енергија се претвара у унутрашњу енергију. На основу првог принципа термодинамике добија се повећање унутрашње енергије, U, затвореног гаса:

$$\mathrm{d}U = \delta Q - A \qquad 5.13$$

где је Q- количина топлоте и A- рад гаса: $A = pdV$, где је p- притисак и V – запремина. При сталној запремини ($\mathrm{d}V = 0$) је $\mathrm{d}U = \delta Q$. За идеалан гас промена унутрашње енергије је дата изразом:

$$\Delta U = \frac{i}{2} Nk\Delta T \qquad 5.14$$

где је i- број степени слободе гаса и има вредност 3 за једноатомни, 5 за двоатомни и 6 за вишеатомни гас, N- укупан број молекула, k- Болцманова константа и T- апсолутна температура. Стање идеалног гаса описује једначина: $pV = NkT$

Па се може изразити промена притиска затвореног гаса:

$$\Delta p = \frac{2\Delta U}{iV} \qquad 5.15$$

Висок притисак који настаје не дозвољава поклопцу да остане на ролни и долази до његовог екстремно брзог избацивање. При оваквом процесу унутрашња енергија гаса претвара се у кинетичку енергију поклопца.

Запажања

Овера:

6. ЗВУК

У овом делу је приказано 9 једноставних експеримената којима се демонстрирају неке особине звука. Образложење експеримената од редног броја 6.2.1-6.2.3 може се прилагодити ученицима најнижег узраста, од I-IV разреда основне школе, приликом увођење основних појмова везаних за звук. Ови експерименти се могу извести и са ученицима VII разреда основне школе. Образложења осталих експеримената захтевају виши ниво знања из физике као и одговарајуће предзнање из математике, те су приказани експерименти погодни за ученике III разреда гимназије.

6.1. Теоријски подсетник

6.1.1. Простирање таласа у еластичној средини

Механички талас је ширење осцилаторног поремећаја у еластичној материјалној средини. Механички таласи се не могу простирати у безваздушном простору. При простирању таласа преноси се енергија са једне честице на другу. Честице средине кроз коју се талас преноси осцилују око равнотежних положаја, односно нема њиховог међусобног додира.

Таласи могу бити ***трансверзални (попречни)*** и ***лонгитудинални (уздужни)***. Код трансверзалних таласа честице осцилују нормално на правац простирања таласа. Јављају се само у срединама где постоје еластичне силе смицања, односно само у чврстим телима. Код лонгитудиналних таласа делићи средине осцилују дуж правца простирања таласа (згушњавање и разређивање) и они се могу простирати кроз материјалну средину у сваком агрегатном стању.

Таласни фронт је површина која спаја тачке до којих је стигао таласни поремећај а све тачке осцилују у истој фази, односно имају исти интензитет, правац и смер брзине простирања. У хомогеној и изотропној средини таласни фронт таласа који настаје у тачкастом извору има облик сфере. ***Раван талас*** је талас чији је таласни фронт раван. На великој удаљености од извора таласа и сферни талас има раван таласни фронт. Према ***Хајгенсовом принципу*** свака тачка еластичне средине до које је стигао таласни фронт може се сматрати новим извором таласа.

6.1.2. Карактеристике таласа

Таласна дужина, λ, је најмање растојање између два делића средине који се налазе у истој фази осциловања.

Период, T, је време потребно да се поремећај пренесе између два делића средине који се налазе у истој фази осциловања.

Фреквенција, ν, је број осцилација у јединици времена, обрнуто је сразмерна периоду осциловања:

$$\nu = 1/T \qquad 6.1$$

Брзина таласа је брзина преношења поремећаја кроз посматрану средину:

$$u = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu \qquad 6.2$$

где је λ -таласна дужина, T -период и ν -фреквенција таласа.

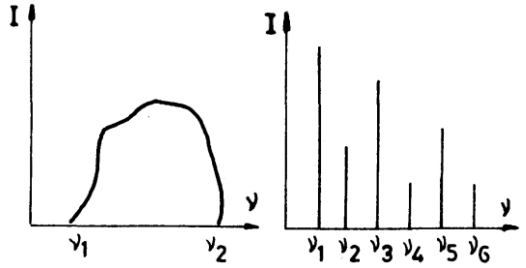
6.1.3. Звук

Звук је лонгитудинални механички талас у опсегу фреквенција које човек чује. Звук не може да се простире у безвадушном простору. Област физике која проучава звук зове се ***акустика***.

Човеково ухо може да региструје осцилације у фреквентном опсегу од 20 Hz - 20 kHz, уколико су довољног интензитета (изнад прага чујности). Звук чије су фреквенције испод 20 Hz назива се ***инфразвук*** и изнад 20 kHz ***ултразвук***.

Акустички спектар звука чини скуп таласа различитих фреквенција, ν_1, ν_2, ν_3....

Акустички спектар може бити континуалан (слика 6.1.а), звучни талас изазива непријатан осећај и назива се *шум*. Уколико је акустички спектар дискретан (слика 6.1.б) звучни талас изазива пријатан осећај и назива се *тон*.



а) б)

Слика 6.1. Акустички спектар: а)шума, б) тона

У оквиру акустичког спектра талас најнижа фреквенција назива се *основни* хармоник и одређује *висину* тона. Таласи осталих *фреквенција* чине *више хармонике* и одређују *боју* тона.

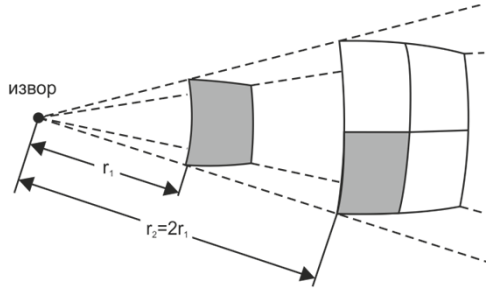
Брзина звука се мења са температуром:

$$v = v_0 \sqrt{1 + \alpha t} \qquad 6.3$$

где је: v_0 - брзина звука на 0^0C, а $\alpha = \frac{1}{273}\ {}^0\mathrm{C}^{-1}$. Брзина звука у ваздуху на 20^0C износи 344 *m/s,* при нормалним атмосферским условима.

Интензитет зависи од амплитуде осцилација. Интензитет звука у правцу простирања звучног таласа дефинише се као количник звучне енергије ΔE која у времену Δt прође кроз површину ΔS нормалну на правац простирања:

$$I = \frac{\Delta E}{\Delta t \Delta S} \qquad 6.4$$



6.2. Простирање звука у простору.

Интензитет звука зависи од квадрата амплитуде притиска:

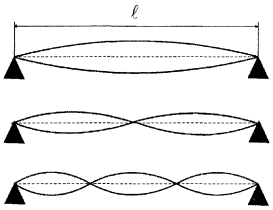
$$I = \frac{p^2}{2\rho v} \qquad 6.5$$

Ниво интензитета, L, уводи се јер одговор човековог уха на промену интензитета звука није линеаран, него је логаритамски.

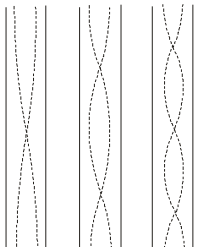
$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \qquad 6.6$$

где је: I – интензитет звука који стиже до уха, I_0 – јачина звука која одговара прагу чујности (I_0 = 10^{-12} W/m^2). Проблеми великог опсега превазилазе се увођењем логаритамске јединице децибел [dB], при чему интензитет звука који одговара прагу чујности избоси 0 dB. Праг бола је гранична вредност јачине звука која изазива бол у човековом уху и износи 1 W/m^2, односно 120 dB.

Звучни извори су механички извори који не дају увек звук довољне јачине. То могу бити затегнуте жице, штапови, ваздушни стубови, плоче или мембране. Ако се два таласа нађу у истој тачки простора у истом тренутку долази до њихове интерференције (појачања или слабљења). Слагањем два равна таласа, који имају исту амплитуду, исти таласну дужину и фреквенцију, а простиру се у истом правцу, али у супротним смеровима настаје стојећи талас. Стојећим таласом се не преноси енергија. Образовање стојећих таласа (трансферзалних – жица, штап, лонгитудиналних – ваздушни стубови, односно дводимнезионалних – плоче или мембране) приказано је на слици 6.3. Када се стојећи талас формира на жици, на месту где је учвршћени крај жице се формира чвор стојећег таласа, а на слободном крају трбух. Када се формира у цеви, на затвореном крају цеви се формира чвор стојећег таласа, а на отвореном трбух.

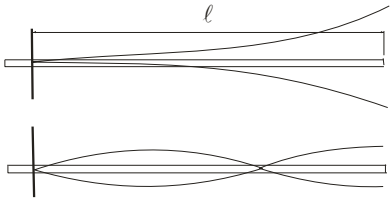


$$l = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

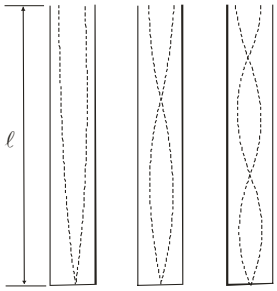


а) жица учвршћена на два краја

б) отворена цев

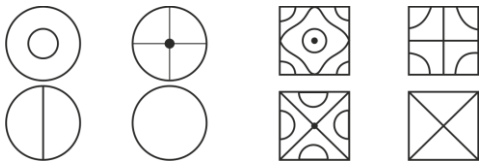


$$l = n\frac{\lambda}{2}$$



в) жица учвршћена на једном крају

г) затворена цев



д) мембране

Слика 6.3. Образовање стојећих таласа

Резонанција настаје када фреквенција неког звучног извора постане једнака фреквенцији основног тона, или неког вишег хармоника, тела које представља резонатор. *Резонатори* су тела која ступају у резонанцију са извором звука, омогућују веће емитовање енергије звука и он се гласније чује. Пример су музички инструменти, односно дрвене кутије код виолине, или гитаре. Осим зидова саме кутије у резонанцију ступа и ваздушни стуб у њој, што обезбеђује већу јачину звука.

Аустријски физичар Доплер (Christian Doppler, 1803-1853) је проучавао везу између фреквенција таласа које емитује неки извор (предајник) и фреквенција истих таласа које прими пријемник (људско ухо или неки уређај) и уочио је да се фреквенција таласа мења у случају да постоји релативно кретање пријемника у односу на извор. *Доплеров ефекат* је појава промене фреквенције таласа која се запажа у систему референције који се релативно креће у односу на извор таласа. Када се пријемник

приближава извору фреквенција звука којег региструје пријемник се повећава у односу на фреквенцију звука коју би регистровао у случају да се налазе у релативном стању мировања и обрнуто (када се пријемник удаљава од извора фреквенција звука којег региструје пријемник се смањује у односу на фреквенцију звука коју би регистровао у случају да се налазе у релативном стању мировања):

$$f_P = \frac{u \pm v_P}{u \mp v_s} f_s \qquad 6.7$$

где је f_P - фреквенција коју региструје пријемник, f_s фрквенција коју предајник емитује (сопствена фреквенција извора), u -брзина звука у односу на ваздух (средину), v_P -брзина кретања пријемника и v_s -брзина кретања извора, при чему је у случају релативног приближавања извора и пријемника у бројиоцу "+", а у имениоцу "-", а у случају релативног удаљавања у бројиоцу "-", а у имениоцу "+". Доплеров ефекат се испољава код свих врста таласног кретања (механичких и електромагнетних таласа).

6.2. Једноставни експерименти

6.2.1. ОДАКЛЕ ЗВУК ДОЛАЗИ?

(звук-звучни таласи)

Експериментом се показује на који начин људско ухо одређује одакле звук долази.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- гумено црево дужине ~ 80 cm

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Затворених очију држи крајеве гуменог црева приљубљене уз уши. Твој друг нека прстом куцка, иза твојих леђа, по различитим деловима црева, а ти показуј руком из ког правца долази звук који чујеш. Ако се куцка са десне или леве стране у односу на средину црева, онда одређујеш правац из ког звук долази. Ако се куцка са исте стране, а на различитим растојањима од средине црева, онда одређујеш које је место ближе уху.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Куцкањем по спољашњој страни гуменог црева производе се звучни таласи, који се простиру кроз унутрашњи део црева. Ако се куцка по средини црева, извор таласа је подједнако удаљен од оба уха. Звучни талас истовремено стиже до оба уха, те особа која региструје звук, зна да се извор налази на средини. Међутим, ако се не куцка по средини гуменог црева, звук стиже раније до уха које је ближе извору. На основу редоследа којим звук стиже до једног и другог уха, као и временске разлике, мозак одређује правац из ког звук долази. Најкраћи временски интервал, који може да региструје човеково ухо, је $30\ \mu s$.

Очигледно је да проблем настаје у случају да звуци, које човек слуша, дуже трају. Обзиром да се правац из ког стижу звуци одређује на основу временске разлике којом стижу до једног и другог уха, звуке који дуже трају људски слух не може да локализује. Ако се испред особе, која стоји затворених очију, човек који звижди у пиштаљку покреће горе доле, она ће моћи да одреди правац из ког звук стиже само ако звуци кратко трају. У случају да се човек који звижди помера и непрекидно звижди, правац из ког звук долази није могуће одредити.

Одређивање правца из ког звук долази помоћу временске разлике претпоставља, да оба уха осећају звук истог интензитета. Ако се извор звука налази са стране, онда глава за звучне таласе представља препреку, тако да је њихов интензитет за једно ухо мањи. Разлика интензитета се примећује када су фреквенције звука преко 3 kHz. У том случају пречник главе је једнак приближно половини таласне дужине звучног таласа. Због тога се звук на основу временске разлике звучних таласа,

може локализовати само код таласа ниских фреквенција. У случају звучних таласа високих фреквенција, правац звука се одређује на основу разлике у јачини звука, а у случају средњих фреквенција од ~3 kHz, или на један или на други начин. Да би се одредио правац из ког звук долази, мора се слушати са оба уха! Ако се једно ухо затвори, онда се правац, из ког звук долази, не може одредити.

Запажања

Овера:

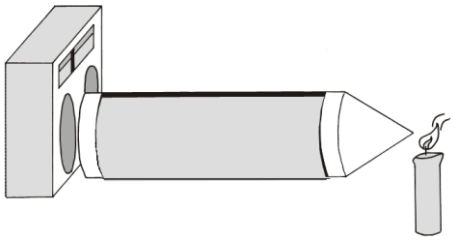
6.2.2. МУЗИКАЛНА СВЕЋА!

(звук - звучни таласи – притисак звука)

Због промена притиска ваздуха насталих услед ширења звучних таласа, пламен свеће се распламса или пригуши.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- папирна цев (дужине ~ 30 cm, пречника ~ 5 cm)
- пергамент папир или балон
- свећа
- папир
- звучник, радио
- штипаљке, лепак



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Исеци круг папира радијуса ~ 7 cm. Од овог круга исеци једну четвртину, чији полупречници чине угао од $90^{0.}$ Преостале три четвртине уви тако да направиш купу. Купу залепи за папирну цев, а на њеном врху направи рупу пречника ~ 2 mm. Супротну страну папирне цеви затвори пергамент папиром, или делом балона.
Постави цев испред запаљене свеће и куцкај прстом по пергамент папиру. Пламен свеће ће треперети. Ако папирну цев ставиш испред звучника свећа ће „играти“ у такту музике.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Простирући се кроз ваздух звук изазива осциловање честица ваздуха у правцу свог простирања, односно образује се лонгитудинални талас. Звучни талас изазива наизменично сабијање и разређивање ваздуха, при чему се притисак ваздуха на местима компресије повећа, а на местима разређених ваздушних слојева смањи у односу на атмосферски притисак. Ако се извор звука постави испред дела папирне цеви на којој је пергамент папир, промене притиска се преко њега преносе на ваздух у цеви. При повишеном притиску део ваздуха излази из цеви и кроз отвор купе усмерава се ка свећи, која се услед тога распламса. На местима разређених ваздушних слојева притисак је мањи у односу на атмосферски. Због тога део околног ваздуха улази кроз отвор у цев, око свеће се јавља „мањак“ ваздуха (кисеоника) те се она скоро угаси! Зато свећа „игра“ у такту музике.

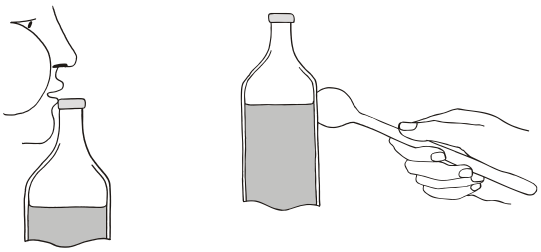
Запажања

Овера:

6.2.3. ДУВАЊЕ И ЛУПАЊЕ У БОЦУ!

(осцилације - сопствене осцилације - сопствена фреквенција - стојећи таласи)

Помоћу боце делом напуњене водом, може се показати да сопствена фреквенција стуба ваздуха или воде, зависи од висине ваздуха, односно воде у боци.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- стаклена боца
- кашика или штап за ударање

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Стаклену боцу напуни водом до 2/3 њене висине. Ако са стране дуваш у отвор боце настаје звук (види слику). Уколико се више воде сипа у боцу, звук који настаје је виши.

Ако се кашиком удари у стаклени зид боце, делом напуњене водом (види слику), такође настаје звук. Ако се у овом случају повећа висина воде у боци, звук који настаје је нижи!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Када дуваш у боцу стуб ваздуха, који се налази изнад воде, почиње да осцилује и настаје звучни талас. Део боце који није напуњен водом представља резонатор у ком се образују стојећи таласи. Висина звука, односно фреквенција, зависи од дужине стуба ваздуха. Ако се дужина ваздушног стуба смањује, смањује се и таласна дужина сопствених осцилација, λ, а фреквенција, $f = \frac{c}{\lambda}$ (брзина звука у ваздуху, c = *const*.) се повећава. Звук зато постаје виши.

Ако се боца споља удара кашиком стакло са водом у боци заосцилује. Сопствена фреквенција осциловања стуба воде, зависи од масе воде односно од висине стуба воде у боци. Са повећањем висине воденог стуба у боци, повећава се таласна дужина сопствених осцилација, λ. Како је $f = \frac{c_v}{\lambda}$, сматрајући брзину звука у води константном, c_v = *const*., значи да се са повећањем λ, фреквенција смањује. Звук постаје нижи – дубљи!

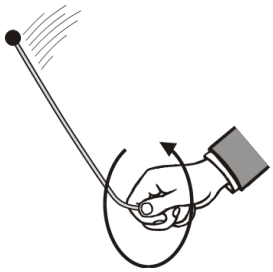
Запажања

Овера:

6.2.4. ЗАШТО ЗВИЖДИ ВЕТАР?

(ламинарно струјање – турбулентно струјање – звучни таласи – Рејнолдсов број – тон – шум)

Настанак звука, када ваздух струју око тела, може се демонстрирати помоћу обичног ужета. Такође је могуће приказати прелаз из ламинарног у турбулентно кретање.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

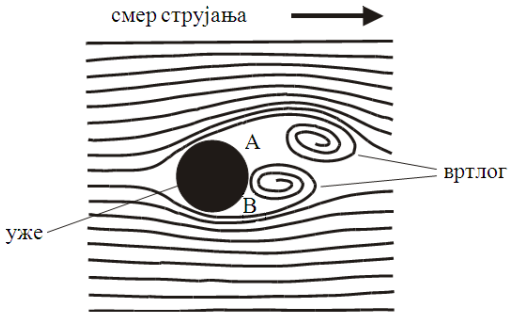
- танко уже (пречника ~ 4 - 6 mm, дужине ~ 1 - 1,5 m)
- мали тегић (~ 20 - 30 g)

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Један крај ужета дужине ~1 m руком заврти тако да брзо ротира (око 25 обртаја за 10 s). При том ћеш чути звук у облику звиждука, чија висина зависи од брзине ротације. Ако на уже причврстиш мали тег (види слику), при чему он мора бити добро причвршћен да се не би откачио и обрћеш га око главе (око 5 обртаја за 10 s) никакав звук нећеш чути!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

При релативно великим брзинама ротације тела производе турбулентна струјања ваздуха, при којим настају звучни таласи. Око цилиндричног ужета, на левој и десној страни, настају вртлози (слика 6.4). У стационарној струји ваздуха иза ужета настају вртложни таласи, који ротирају у супротним правцима и са одређеном временском разликом. Услед настанка вртложних таласа (на страни А и страни Б, слика 6.4) уже почиње да трепери, што доводи до настајања звучних таласа. Од брзине струјања зависи фреквенција насталих таласа, а с тим и висина тона.



Слика 6.4. Струјање ваздуха око цилиндричног ужета

Када се уже релативно споро окреће, ламинарност струјања се не нарушава и звук се не производи. Критерујум да ли је струјање ламинарно или турбулентно изводи се на основу вредности Рејнолдсовог броја:

$$Re = \frac{lv\rho}{\eta} \qquad 6.8$$

где је l-дужина тела нормално на струју флуида, η- коефицијент динамичке вискозности средине, ρ - густина средине и v - брзина струјања флуида.

Прелаз из ламинарног у турбулентно кретање догађа се при величини $Re \approx 2000$. При екстремно малој вискозности средине ($\eta \approx 0{,}018$ mPas) у ваздуху, у већини случајева, настају турбулентни таласи. На основу малог пречника ужета, у овом експерименту, код малих брзина обртања струјање је ламинарно ($Re \approx 550$, при 5 обртаја у 10 s), али за веће брзине - турбулентно ($Re \approx 2700$, при 25 обртаја у 10 s). Описана појава дешава се такође и кад ветар наиђе на пукотине на вратима и при том настају типични звиждећи шумови.

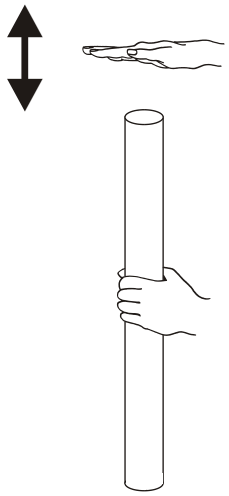
Запажања

Овера:

6.2.5. ОТВОРЕНА И ЗАТВОРЕНА ПИШТАЉКА

(звук – тон – стојећи таласи – таласна дужина – резонанција)

Помоћу цеви могуће је образовати стојеће таласе различите таласне дужине и на тај начин произвести различите тонове!



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- отворена стаклена или папирна цев (дужине од 20-90 cm, пречника 3 cm)
- много других цеви различитих дужина

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Кратко удари један крај отворене цеви опруженим дланом (види слику). Чућеш основни тон који ова цев производи, у моменту док је кратко била покривена дланом и потом опет отворена. Поново удари дланом отворен крај цеви, али тако да после удара задржиш длан на том крају цеви. Основни тон који чујеш, је за октаву нижи од претходног.

Цеви различите дужине производе тонове различите висине. Уколико је цев дужа утолико је тон дубљи! Такође цеви затворене на једном крају производе тонове за октаву ниже, од тонова које производе цеви отворене на оба краја.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Приликом удара длана о један крај отворене цеви, ваздух у њој почиње да осцилује. У случају цеви дужине *l,* отворене са обе стране, настаје стојећи талас са трбусима на крајевима цеви (слика 6.5а). Таласна дужина, λ, основног тона једнака је двострукој дужини цеви отворене са оба краја, а услов за образовање виших хармоника је:

$$l = n\frac{\lambda}{2} \quad , \quad \text{где је } n = 2,\ 3,\ 4,\ 5,\ \ldots \qquad 6.9$$

У случају цеви затворене са једне стране, на отвореном крају образује се трбух таласа, а на затвореном чвор (слика 6.5б). Таласна дужина основног тона, λ, једнака је четвороструко дужини цеви, а услов за образовање виших хармоника је:

$$l = (2n+1)\frac{\lambda}{4} \ , \ \text{где је } n = 1,\ 2,\ 3,\ 4,\ \ldots \qquad 6.10$$

Брзим ударцем у ваздуху се образују тонови чије су фреквенције основних тонова у случају отворене цеви са оба краја:

$$f = \frac{c}{2l} \qquad 6.11$$

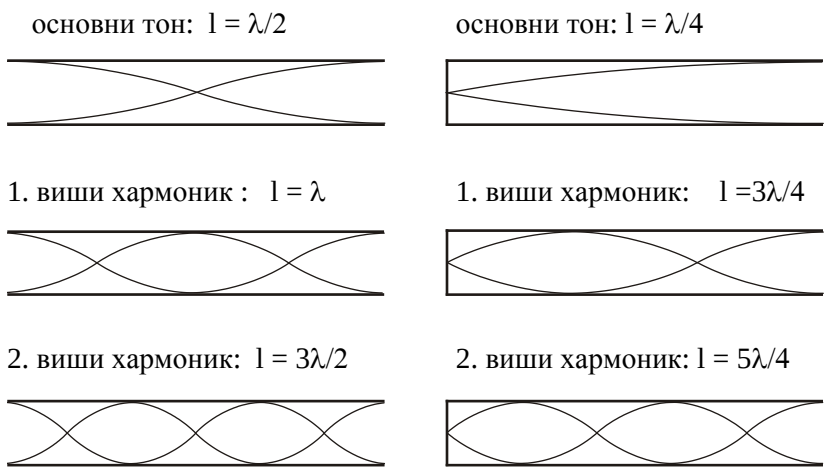
а у случају затворене цеви са једног краја:

$$f = \frac{c}{4l} \qquad 6.12$$

где је: f – фреквенција основног тона, c – брзина звука у ваздуху која је ~ $340\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$,

l – дужина цеви.

Фреквенција звука који се образује у цеви затвореној са једног краја упола је мања него у случају цеви отворене са оба краја, што објашњава разлику у висини образованих тонова од једне октаве.



а) отворена цев са оба краја б) затворена цев са једног краја

Слика 6.5. Стојећи таласи у цеви

Запажања

Овера:

6.2.6. ВИЉУШКА ЗА ШТИМОВАЊЕ - СИРЕНА

(оциловање – хармонијско осциловање – пулсација)

Помоћу две звучне виљушке истих фреквенција, може се произвести звучни удар.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- 2 звучне виљушке истих фреквенција

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

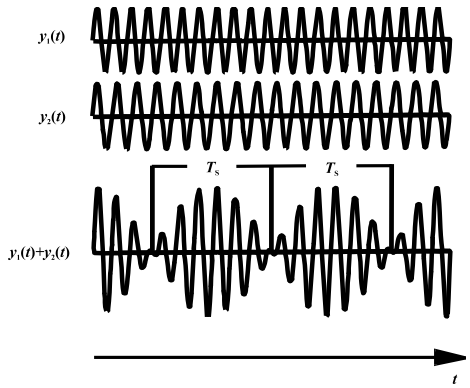
Ако се две звучне виљушке ударом доведу у осциловање, тада се осим појачања гласности и стереофонског ефекта не може утврдити никаква разлика у односу на случај када имамо само једину осцилујућу звучну виљушку. Ако се пре удара у звучне виљушке једна загреје, једноставно држањем виљушке у рукама, тада се као последица јавља, при истовременом осциловању обе виљушке тон, код којег се јачина континуирано и правилно смањује или повећава.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Уочени феномен акустичких пулсација наступа у случају када се две хармонијске осцилације, готово идентичних фреквенција, преклапају. Сумирање обе синусоидалне осцилације даје (при упрошћеном рачуну обе амплитуде и фазе су једнаке, те се може применити адициона теорема):

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) = A(\sin\omega_1 t + \sin\omega_2 t) = 2A\cos(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t)\cdot\sin(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t)$$
$$y(t) = 2A\cos(2\pi\frac{f_1 - f_2}{2}t)\cdot\sin(2\pi\frac{f_1 + f_2}{2}t) \qquad 6.13$$

при чему је фреквенција осциловања $\frac{f_1 + f_2}{2}$, а амплитуда, 2A, је синусоидално модулисана фреквенцијом $\frac{f_1 - f_2}{2}$, што значи да јачина звука резултујућег осциловања периодично расте и опада. Ако су амплитуде A_i излазних осцилација (виљушака) као у горе спроведеном рачуну једнаке ($A_1 = A_2 = A$) долази не само до периодичног смањивања јачине звука, него чак до потпуног гашења резултујућег осциловања након такозваног времена пулсације, тачно тада када се мале разлике у фреквенцијама по једној осцилацији сумирају на тај начин да се максимум једне осцилације сусретне са минимумом друге (види слику 6.6.)



Слика 6.6. Суперпозиција звучних таласа блиских фреквенција

Са слике може се узети такође да се у времену T_S косинус мења за π. На тај начин се за време пулсације T_S и за периоде осциловања обеју излазних осцилација, добија следећа релација:

$$\pi = 2\pi \frac{f_1 - f_2}{2} T_S$$
$$T_S = \frac{1}{f_1 - f_2} = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \qquad 6.14$$

где су T_1, T_2 - периоди осциловања обеју почетних осцилација фреквенција f_1 и f_2.

У описаном експерименту се мала разлика у фреквенцијама осциловања виљушака постиже загревањем једне од њих: приликом довођења топлоте, долази до термичког ширења метала, пре свега долази до издужења кракова виљушке због чега се мења фреквенција. Пошто је повећање дужине кракова аналогно повећању дужине осцилујуће жице или ваздушног стуба код ударачких односно дувачких инструмената, које има за последицу нижи тон, односно мању фреквенцију, загревање једне од виљушака доводи до малог „раштеловања“ а то ствара услове за акустичну пулсацију.

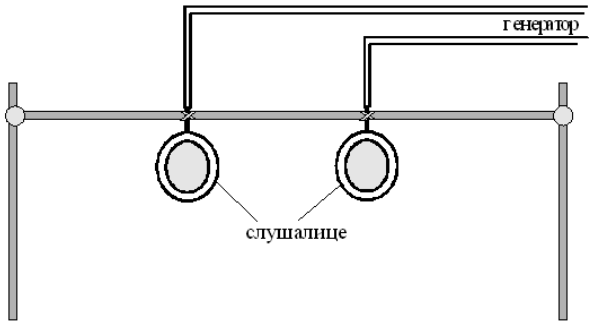
Запажања

Овера:

6.2.7. ИНТЕРФЕРЕНЦИЈА ЗВУЧНИХ ТАЛАСА

(звучни таласи – интерференција)

Интерференција звучних таласа може се демонстрирати помоћу две слушалице за уши.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- две слушалице за уши или два иста звучника
- тонгенератор
- лепљива трака
- статив

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Од три шипке монтирај држач као на слици. На попречну шипку учврсти помоћу лепљиве траке две слушалице на међусобном растојању од 20-50 cm и на висини главе. Слушалице би требало да су скоро паралелне у односу на спољашњи фронт зрачења. Прикључи слушалице на тонгенератор, подешен на фреквенцију од ~ 2500 Hz. Ако се крећеш на растојању од око 1 m паралелно са слушалицама - лево и десно, можеш уочити промену јачине звука.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

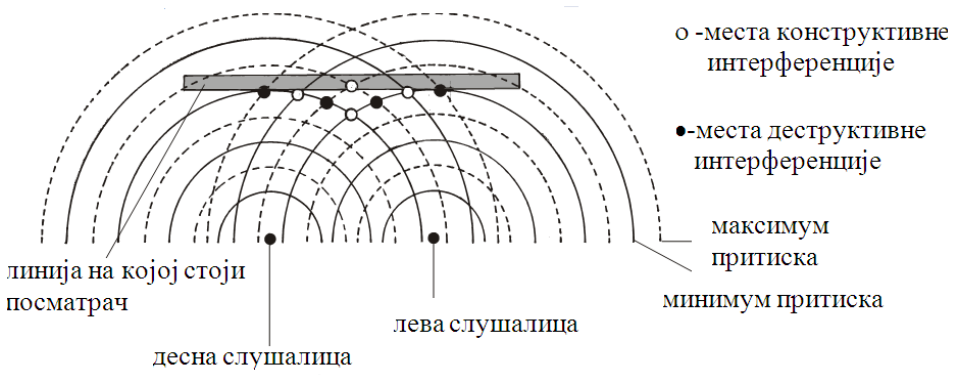
Ушне слушалице се напајају помоћу тон генератора. Због тога се ваздух испред мембрана слушалица доводи у осциловање са тачно задатом фреквенцијом и фазом. Осцилације ваздуха изазивају периодичне промене притиска које се шире као таласи. Звучни таласи, који потичу од обе мембране ушних слушалица, су кохерентни и интерферирају међусобно.

Конструктивна интерференција се добија у случају када је разлика пређених путева таласа од извора до неке „тачке посматрања“ , Δs, цео број таласних дужина λ:

$$\Delta s = n\lambda \text{ за } n \in \mathrm{N} \qquad 6.15$$

Деструктивна интерференција се добија у случају када је:

$$\Delta s = (2n+1)\cdot\frac{\lambda}{2} \qquad 6.16$$



Слика 6.7. Интерференција звучних таласа

На слици 6.7. пуним линијама су представљени положаји максимума притиска, а испрекиданим линијама положаји минимума притиска. Тачке пресека пуних линија представљају положаје конструктивне интерференције. Ако се на неком месту преклапају минимум и максимум притиска, гасе се оба таласа (у идеалном случају) преко деструктивне интерференције.

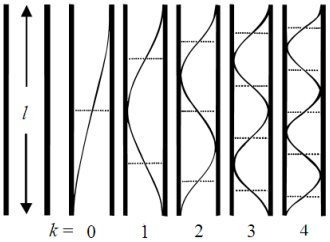
Запажања

Овера:

6.2.8. ВИШИ ХАРМОНИЦИ У ЦЕВИ

(осциловање – фреквенција – таласна дужина – тонови – виши хармоници)

Помоћу пластичне цеви може се демонстрирати феномен настанка виших хармоника у ваздушном стубу који осцилује.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- флексибилана, ребраста пластична цев отворена са оба краја, дужине ~ 1 m, пречника ~ 2,5 cm

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Узми један крај флексибилне, ребрасте, са оба краја отворене пластичне цеви у руке, а затим доведи цев у кружно кретање тако да њен слободан крај кружи као пропелер (при вертикалном окретању) или као ласо (при хоризонталном окретању изнад главе). У зависности од брзине окретања овог „цевног пропелера“ настају гласни тонови различитих висина.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Ако се ваздух у цеви доведе у осциловање, настају тонови. На том принципу се базира генерисање тонова код сваког дувачког инструмента без обзира да ли је у питању дрвени или лимени инструмент, гајде или оргуље. За то је неопходно да кроз цев струји ваздух и да се струјање периодично нарушава.

У предложеном експерименту ваздушна струја се ствара окретањем цеви. На слободном крају цеви у зависности од брзине обртања „пропелера“, а због разлике у брзинама обртања крајева, *v*, околни ваздух ствара у односу на ваздух у цеви извесни потпритисак. Због тога при константој брзини обртања, ваздух стално струји од отвореног краја цеви, који се држи у руци, ка слободном крају цеви.

Поремећаји у струјању настају због жљебова на зидовима цеви, или што се увек дешава, на ивицама отвора цеви. Ти поремећаји у ствари представљају турбуленције, које ометају ламинарно кретање ваздушне струје. На тај начин настају осцилације притиска у цеви. Поремећаји се могу представити као слагање најразличитијих фреквенција. Поједине осцилације се преко повратне спреге појачавају и то оне које задовољавају услов:

$$l = (k+1)\frac{\lambda}{2} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{(k+1)} \cdot l \quad \Leftrightarrow \quad f = (k+1) \cdot \frac{1}{2l} c \qquad 6.17$$

где је l - дужина осцилујућег стуба ваздуха, c - брзина звука, f - фреквенција и λ - таласна дужина.

Из услова да се талас формира тако да на оба отворена краја морају постојати трбуси следи да се k мења од 0 у корацима од по један.

Према овим претпоставкама морао би се при ротацији цеви генерисати један бескрајни низ тонова: један основни тон ($k = 0$) и k-ти виши хармоници. У пракси се успева добити ипак само неколико тонова који су могући на основу рачуна

(углавном основни тон и прва четири виша хармоника). Као што је у експерименту показано, низ k створених виших хармоника зависи од брзине обртања, односно самим тим од брзине струјања ваздуха у цеви, а то је ограничено и механичким способностима експериментатора. Пошто је ширење промена притиска ограничено брзином ваздушне струје у цеви, тада се при малим брзинама окретања цеви генеришу само мале фреквенције, односно ниски тонови.

Ако се стави [*Менде* 1988, С. 282] $c = 334\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ на $20\,°\mathrm{C}$ температуре ваздуха,

добијају се за дужину цеви од $l = 1\,\mathrm{m}$ тонови који се могу чути на отприлике:

- основни тон -171 Hz (*f*)
- први виши хармоник (на растојању једне октаве од основног тона) - 342Hz (f^1)
- други виши хармоник (на растојању једне квинте од претходног тона) - 513Hz (c^2)
- трећи виши хармоник (на растојању једне кварте од претходног тона) - 684 Hz (f^2)
- четврти виши хармоник (на растојању једне велике терце од претходног тона) - 855 Hz (a^2)
- и евентуално пети виши хармоник (на растојању једне мале терце од претходног тона), 1026 Hz (c^3), при чему су дате висине тонова само приближне тоновима, који су усвојени за интернационално подешавање.

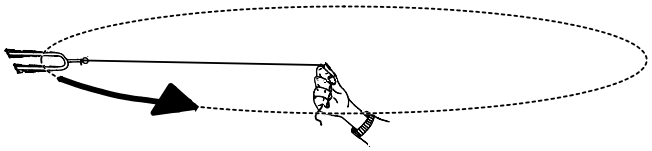
Запажања

Овера:

6.2.9. ДОПЛЕРОВ ЕФЕКАТ ПОМОЋУ ЗВУЧНЕ ВИЉУШКЕ

(*тон - висина тона – фреквенција - Доплеров ефекат – покретање - брзина*)

Помоћу звучне виљушке, која се креће променљивом брзином, могуће је демонстрирати Доплеров ефекат.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- јачи канап (дужине ~ 1 m)
- звучна виљушка са резонантном кутијом

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Један крај канапа завежи за звучну виљушку. Канап држи за други крај, удари о звучну виљушку, тако да се настали звук јасно чује. Потом звучну виљушку помоћу канапа врти у круг изнад главе (види слику). При том обезбеди довољно простора, да нико не буде повређен. Посматрач, који је нешто удаљен, јасно може чути осцилације у висини звука. Пошто јачина звука звучне виљушке брзо опада, време од удара у звучну виљушку до њеног покретања не сме бити дуго.

Уместо звучне виљушке може се завртети и неки други, по могућности лакши предмет, уколико он производи звук константне висине. Погодни су на пример лагани звучници, који се врте тако што се држе за каблове. Звук се најбоље производи помоћу генератора за снагу (на пример синусни таласи од ~ 440 Hz), или се одмах употребљава генератор звука. Погодне су и зујалице на батеријски погон, које се могу купити у свакој продавници електричне опреме.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

За посматрача који је на некој удаљености, звучна виљушка као извор звука у случају кружног кретања, стално мења брзину. На основу Доплеровог ефекта посматрач због тога региструје звук променљиве висине. Ако се звучна виљушка креће према посматрачу, онда је звук који посматрач региструје виши од звука виљушке која мирује. Ако се звучна виљушка креће од посматрача, онда је звук који он региструје ниже фреквенције односно дубљи. Услед кружног кретања, брзина звучне виљушке се у односу на посматрача континуирано мења између две екстремне вредности (највећа брзина ка посматрачу и највећа брзина од посматрача). Посматрач то чује као осциловање висине звука између високог и ниског звука.

Доплеров ефекат се користи у техници за радарску контролу при одређивању брзине путничких возила. На основу Доплеровог ефекта рефлектовани електромагнетни таласи, које емитује возило у покрету, имају другу фреквенцију. Знајући разлику фреквенција могуће је одредити брзину кретања возила.

Запажања

Овера:

7. СВЕТЛОСТ

У овом делу је приказано 9 једноставних експеримената којима се демонстрирају неке особине светлости. Сви експерименти се могу изводити у VIII разреду основне школе, као и у III разреду гимназије, с тим да ниво образложења треба прилагодити узрасту ученика.

7.1. Теоријски подсетник

7.1.1. Светлост

Светлост је део спектра електромагнетног зрачења из опсега таласних дужина видљивих голим оком (од 380nm до 760nm).

Боја спектра	Таласна дужина [nm]
љубичаста	380–450
плава	450–495
зелена	495–570
жута	570–590
наранџаста	590–620
црвена	620–750

Према схватању о дуалистичкој природи светлости она истовремено испољава како особине таласа (таласна природа) тако и особине честица (честична, односно корпускуларна). Област физике која проучава светлост се назива ***оптика***.

Сваки извор светлости емитује енергију у тачно одређеним енергетским износима – квантима, на основу којих се објашњава корпускуларна природа светлости. На основу ове теорије било је могуће објаснити појаве фотоефекта и Комптоновог ефекта.
Уколико се светлост посматра само са становишта њене таласне природе, могуће је објаснити појаве: интерференције, дифракције и поларизације.

Интерференција светлости је слагање два или више кохерентних таласа. Кохерентни су таласи који имају исту фреквенцију и брзину, истог су типа (трансверзални или лонгитудинални) и простиру се кроз исту средину. Постоји конструктивна (амплитуда резултујућег таласа једнака је збиру амплитуда таласа који интерферирају) и деструктивна (амплитуда резултујућег таласа једнака је разлици амплитуда таласа који интерферирају) интерференција.

Дифракција светлости је појава одступања од праволинијског простирања светлосног зрака (“савијања”, скретања светлости са праволинијског пута) приликом наиласка светлости на мали отвор (пукотину) или на малу препреку –

реда величине таласне дужине светлости која на њу наилази, без промене материјалне средине кроз коју пролази.

Поларизација настаје кад светлосни вектор осцилује само у једној равни, која је нормална на правац простирања и раван поларизације.

Веза таласне дужине светлости и фреквенције дата је изразом:

$$c = \lambda \nu \qquad 7.1$$

где је: c - брзина светлости (брзина светлости у вакууму износи 299820km/s), λ - таласна дужина а ν -фреквенција.

7.1.2. Геометријска оптика.

Конструкција оптичких уређаја базира се на примени закона геометријске оптике. Основа ових закона је геометрија. Закони на којима се заснива геометријска оптика су:

- Закон праволинијског простирања светлости
- Закон међусобне независности простирања светлосних зрака
- Закон одбијања светлости
- Закон преламања светлости

Наведени закони могу да се изведу и из Фермаовог (Pierre de Fermat, 1601-1665) принципа према којем се светлосни зрак између две тачке у простору креће оном путањом за коју је потребно најмање времена.
Приликом одбијања или преламања светлости на оптичким инструментима лик предмета који се формира може бити умањен, увећан или исте величине као предмет; усправан или обрнут; реалан или имагинаран. Реалан лик се формира у пресеку светлосних зрака, а имагинарни се формира у пресеку продужетака зрака који дивергирају.
Увећање се дефинише као однос величина лика и предмета:

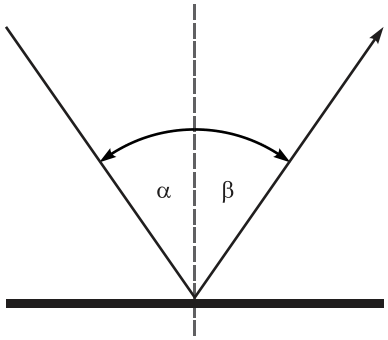
$$U = \frac{L}{P} \qquad 7.2$$

где је L величина лика, а P величина предмета.

7.1.3. Закон одбијања (рефлексије) светлости

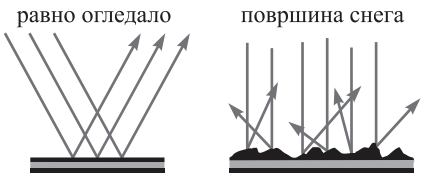
Према закону одбијања светлости упадни зрак, нормала и одбијени зрак леже у истој равни. Угао упадног зрака α и угао одбијеног зрака β (у односу на нормалу) међусобно су једнаки:

$$\alpha = \beta \qquad 7.3$$



Слика 7.1. Одбијање светлости

У основне облике одбијања светлости спадају огледалска и дифузна рефлексија.



Слика 7.2. Огледалска и дифузна рефлексија

Огледала су оптичка тела глатких површина на којима се врши рефлексија светлосних зрака. Постоје ***равна*** и ***сферна огледала***. Сферна огледала могу бити ***испупчена (конвексна)*** и ***издубљена (конкавна).***

Код равног огледала лик се формира на истом растојању од огледала на којем се налази предмет. Код сферног огледала ***једначина огледала*** повезује жижну даљину f и растојања предмета p и лика l од темена огледала:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l} \qquad 7.4$$

Елементи сферног огледала су:

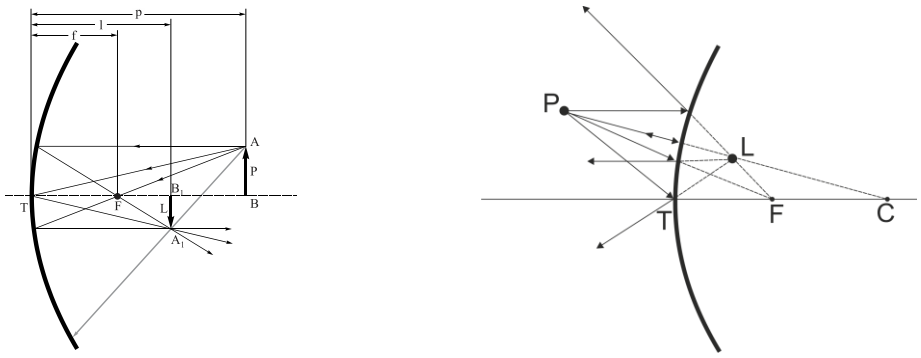
- Центар кривине (C) је центар сферне површине.
- Радијус кривине је полупречник сферне површине (CT).
- Главна оптичка оса (TF) је оса симетрије сферне површине.
- Теме огледала (T) је тачка пресека главне оптичке осе и сферне површине.
- Жижа или фокус (F) је тачка пресека рефлектованих параксијалних зрака и главне оптичке осе (код конкавног огледала) или њихових продужетака (код конвексног огледала).

Параксијалне зраке чини узак сноп зрака који су паралелни са главном оптичком осом.

За добијање лика предмета користе се ***карактеристични зраци*** јер је њихов правац након одбијања од сферног огледала познат:

1. Зрак који од предмета иде паралелно главној оптичкој оси, после одбијања пролази кроз жижу.
2. Зрак који полази од предмета и пролази кроз жижу, после одбијања је паралелан главној оптичкој оси.

3. Зрак који иде од предмета и пролази кроз центар кривине пада нормално на огледало, одбија се од њега у истом правцу, а супротном смеру.
4. Зрак који полази од предмета пада у теме огледала под неким углом, одбија се под истим тим углом.



Слика 7.3. Конструкција лика код сферних огледала

7.1.4. Закон преламања (рефракције) светлости

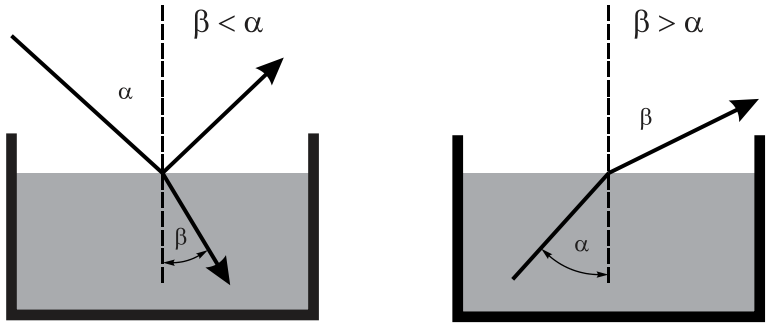
Преламање (рефракција) је промена правца простирања светлосног зрака при његовом преласку из једне у другу материјалну средину.

Према закону преламања (рефракције) светлости упадни зрак, нормала и преломљени зрак леже у истој равни и однос синуса угла упадног зрака α и синуса угла преломљеног зрака β је константна величина – релативни индекс преламања друге средине у односу на прву (карактерише средине на чијој граници се светлост прелама):

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{2,1} \qquad 7.5$$

Апсолутни индекс преламања је дат изразом:

$$n = \frac{c}{v} \qquad 7.6$$

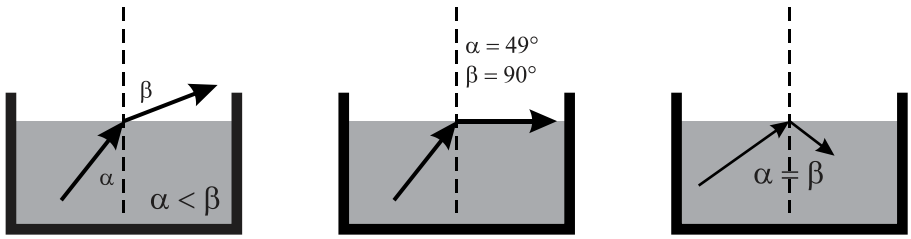


Слика 7.4. Преламање светлости

При преласку из оптички гушће у оптички рећу средину долази до преламања зрака од нормале, а при преласку из оптички ређе у оптички гушћу средину долази до преламања зрака ка нормали

Тотална рефлексија

При преласку из оптички гушће у оптички рећу средину, за упадне углове светлости веће од неког граничног α_g, долази до потпуног одбијања светлости на граници две средине, та појава се назива ***тотална рефлексија***. Одговарајући угао се назива ***гранични угао тоталне рефлексије***.



Слика 7.5. Тотална рефлексија

$$n_1 \sin\alpha_g = n_2 \sin 90^0 \qquad 7.7$$

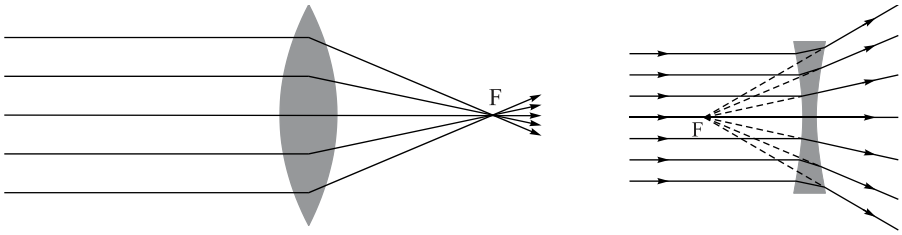
$$(n_1 > n_2)$$

$$\sin\alpha_g = \frac{n_2}{n_1} \qquad 7.8$$

Сочива

Сочива су провидна оптичка тела ограничена двема сферним површинама или једном сферном и једном равном површином. Према начину преламања подељена су на ***сабирна (конвергентна)*** и ***расипна (дивергентна)*** сочива.

Слика 7.6. Врсте сочива



Слика 7.7. Преламање параксијалних зрака на сабирном и расипном сочиву

Јачина сочива у ваздуху се израчунава као реципрочна вредност жижне даљине и изражава се у диоптријама [D]:

$$\omega = \frac{1}{f} \qquad 7.9$$

За сложена сочива, јачине сочива се сабирају.

Једначина сочива повезује жижну даљину f и растојања предмета p и лика l од центра сочива:

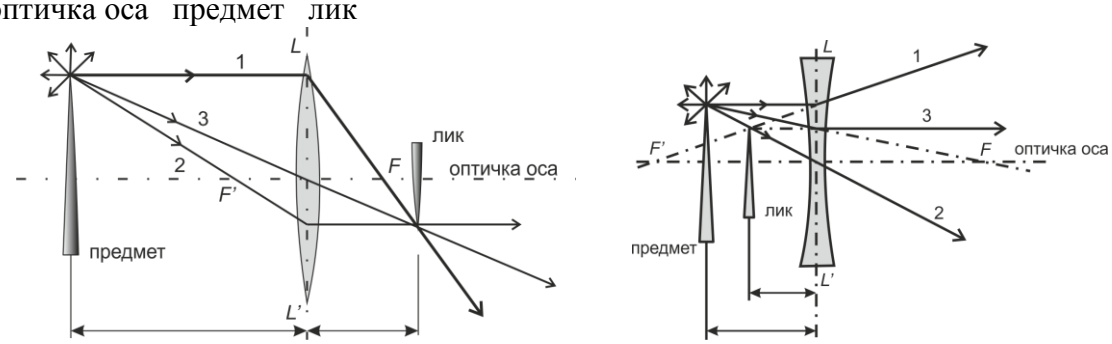
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p} + \frac{1}{l} \qquad 7.10$$

Правила за конструкцију лика код сабирних сочива

За добијање лика предмета користе се карактеристични зраци јер је њихов правац након преламања на сочиву познат:

1. Упадни зрак паралелан главној оптичкој оси после преламања пролази кроз жижу
2. Зрак који пролази кроз жижу, после преламања је паралелан главној оптичкој оси
3. Ако упадни зрак пролази кроз центар сочива преломни зрак пролази без преламања

оптичка оса предмет лик



Слика 7.8. Конструкција лика код сабирних и расипних сочива

Правила за конструкцију лика код расипних сочива

Карактеристични зраци за добијање лика предмета код расипног сочива:

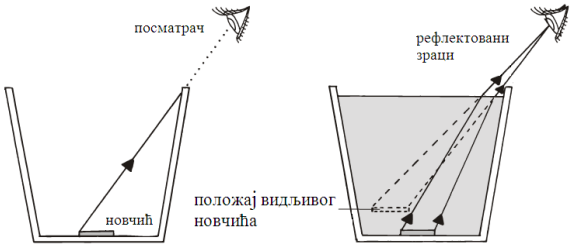
1. Упадни зрак паралелан главној оптичкој оси се прелама тако да његов продужетак пролази кроз имагинарну жижу са стране сочива са које долази
2. Зрак који се креће у правцу према жижи са друге стране сочива је после преламања паралелан главној оптичкој оси
3. Ако упадни зрак пролази кроз центар сочива преломни зрак пролази без преламања

7.2. Једноставни експерименти

7.2.1. НЕСТАЛИ НОВЧИЋ

(преламање светлости)

На основу преламања светлости на површини воде, може један скривени новчић поново постати видљив.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- новчић
- непровидан суд, на пример шољица за кафу или папирна чаша
- камера

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Постави новчић на дно непровидне чаше и чашу намести тако да се новчић може видети. Потом полако померај главу уназад, све док новчић не буде сакривен иза ивице чаше. Задржавајући овај положај главе, сипај воду у чашу све док се новчић понове не појави. Ако се експеримент жели приказати целом разреду препоручује се снимање камером. Камеру треба монтирати на статив да би се задржао константан угао снимања.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Ако нема воде у чаши може се пронаћи такав угао посматрања да се зрак рефлектован од новчића не враћа у око посматрача. Када се вода сипа у чашу, зрак који се рефлектује од новчића прелама се на површини воде. Пут зрака при преласку из оптички гушће у оптички ређу срдедину одређен је законом преламања. Тако се зрак рефлектован од новчића враћа у око посматрача.

Због појаве преламања предмети у води изгледају ближи површини, а безени и језера не изгледају тако дубоки као што јесу.

Запажања

Овера:

7.2.2. ДУПЛИ ПРСТИ

(тотална рефлексија – преламање – рефлексија - огледало)

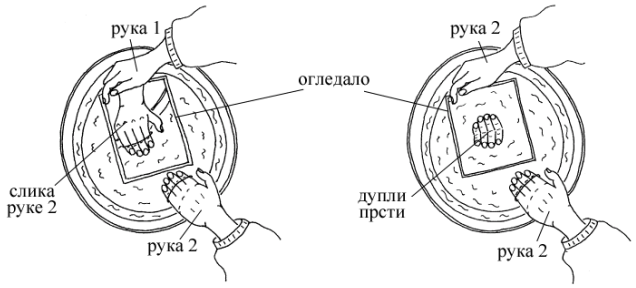
Појава тоталне рефлексије може учинити да видимо дупле прсте.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- огледало за ташну
- посуда
- вода

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Посуду напунити водом до висине око 10 cm. Огледало једном руком поставити хоризонтално испод површине воде. Прсте друге руке заронити до пола у воду, тако да у огледалу може да се види цела рука. Примећује се да део руке који се налази у води изгледа краћи, док се део ван воде види у нормалној величини.
Ако се огледало полако нагиње у односу на површину воде, у једном тренутку у огледалу ће нестати слика дела руке који је ван воде и видеће се дупла слика прстију у води.



ОБЈАШЊЕЊЕ:

Светлосни зраци могу напустити површину воде само када је угао који они граде са нормалом на површину воде мањи од граничног угла тоталне рефлексије. Када је огледало постављено паралелно, то је увек задовољено, а када је под неким углом, постојаће област где зраци бивају тотално рефлектовани и зато не напуштају површину воде. Уколико се прсти нађу у тој области у води, у огледалу ће се видети дупли прсти.

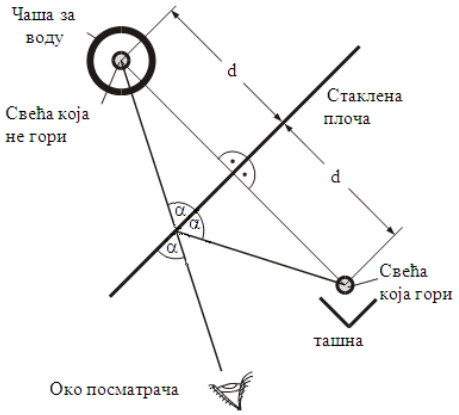
Запажања

Овера:

7.2.3. СВЕЋА КОЈА ГОРИ У ЧАШИ ВОДЕ

(*лик на стаклу - рефлексија - слика*)

Рефлексија и трансмисија огледалског лика на стакленој плочи може учинити да свећа гори у чаши воде.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- две идентичне мале свеће
- чаша за воду
- стаклена плоча (20 cm × 30 cm)
- статив помоћу ког се стаклена плоча постави у вертикалан положај
- ташна или непровидни заклон
- алкохол

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

У чашу за воду на мало истопљеног воска постави се свећа, тако да када се упали и пламен и свећа буду у чаши. Ова свећа не сме да буде упаљена, док се друга упали. Између свећа се постави стаклена плоча. За експеримент је погодно да се стаклена плоча намаже алкохолом. Стаклена плоча у идеалном случају представља равну преграду између свећа. Посматрач стоји на одређеном растојању од плоче, са стране упаљене свеће (види слику). Свећу у чаши посматрач може да види само кроз стаклену преграду. Свећа која заиста гори заклони се ташном, или непровидном преградом, тако да посматрач има утисак да свећа у чаши гори. Ако је пламен сувише висок, свећа се мора скратити тако да пламен не излази из чаше. Потом се у чашу сипа вода, а свећа у чаши и даље гори! Експеримент је још ефектнији уколико се спроводи у мраку.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

На стакленој плочи долази до преламања зрака, који стижу до посматрачевог ока. Када стаклена плоча не би рефлектовала светлост, посматрач би видео да свећа у чаши са водом не гори. Међутим због рефлексије на стакленој плочи, посматрач види имагинарну слику свеће која гори испред стаклене преграде. На основу закона рефлексије, за сваког посматрача, имагинарни лик свеће која гори, налази се на месту друге свеће.

Запажања

Овера:

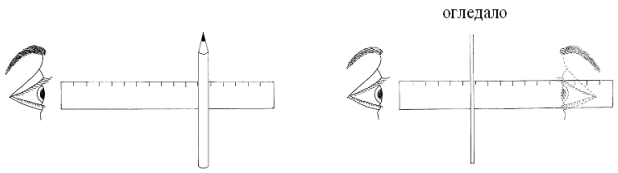
7.2.4. ГДЕ СЕ НАЛАЗИ СЛИКА (ЛИК) У ОГЛЕДАЛУ

(*огледало - равно огледало - лик у огледалу)*

Помоћу индивидуалне минималне даљине јасног вида може се експериментално испитати, колико се далеко налази имагинарни лик иза огледала.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- мало огледало за ташну
- лењир
- мањи предмет на пример оловка



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

У овом експерименту особа испитује сопствену минималну даљину јасног вида. Да би се то урадило потребно је утврдити најмање растојање при ком се очима може јасно видети. Посматрач постави оловку на најмање растојање, паралено оптичкој оси ока (види слику) и удаљује је лагано дуж лењира од ока, све док је слика јасна. Потом постави огледало и помера га све док се лик ока у њему јасно види (види слику). У оквиру тачности мерења добија се растојање између огледала и ока, које је сигурно једнако половини минималне даљине јасног вида ока, а које је пре тога утврђено помоћу оловке.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Посматрајући сопствено око у огледалу, особа која врши испитивање, види имагинарну слику ока иза огледала. Растојање при ком се око у огледалу још увек види јасно, одређено је даљином јасног вида. Како се на основу експеримента добија, огледало је при том постављено на растојање које је једнако половини растојања, које одговара даљини јасног вида посматрачевог ока. При том имагинарна слика лежи у огледалу на истом растојању као и око испред огледала.

Запажања

Овера:

7.2.5. ПАМЕТНО ОГЛЕДАЛО

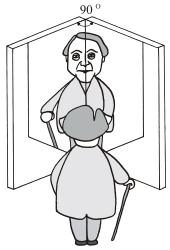
(*огледало - равно огледало - огледало на "ћошак" - лик у огледалу)*

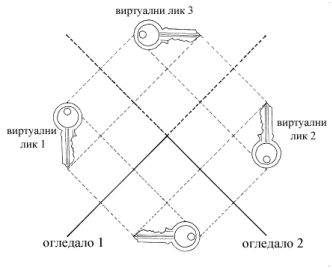
Помоћу два равна огледала, која се могу наместити под разним угловима, може се образовати више ликова.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- два равна огледала, или два помична спојена огледала по могућности без рама
- мали предмет са различитим странама, на пример кључ
- помоћно средство – на пример шминка

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:





Посматрајте сопстевено лице у огледалу, намештајући огледала под таквим углом да слика лица коју видите има две идентичне стране. Ово се добро запажа када је само једна половина лица нашминка.

Да би се слика у огледалу боље анализирала, поставите мали предмет са различитим странама, на пример кључ, испред огледала чије се стране могу померати. У оваквом огледалу се могу видети три имагинарна лика кључа. Имагинарни лик 3 унутар огледала је истих страна, и одговара истостраној слици лица у огледалу, односно округли део кључа указује се посматрачу, за време док се оригинал уклања од посматрача. Другим речима, имагинарни лик 3 изгледа посматрачу исто као и када он сам себе посматра у огледалу. Лево ухо је тада десно!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

На слици су приказана оба огледала у којима настају имагинарни ликови кључа. Имагинарни лик 1 и 2, који настају директно у сваком огледалу, производе сопствену имагинарну слику у другом огледалу: имагинарни лик 1 производи слику у огледалу 2, а имагинарни лик 2 производи слику у огледалу 1. Оба огледала дају имагинарни лик 3. Када ову слику коју су оба огледала равно пресекла, заокренемо под углом од 180^0 формира се првобитна слика - праслика.

Запажања

Овера:

7.2.6. КАШИКА КАО ОГЛЕДАЛО

(огледало - конкавно огледало - конвексно огледало - слика)

Помоћу кашике могуће је добити слику као у конвексном, односно конкавном огледалу, у зависности од тога како је поставимо.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

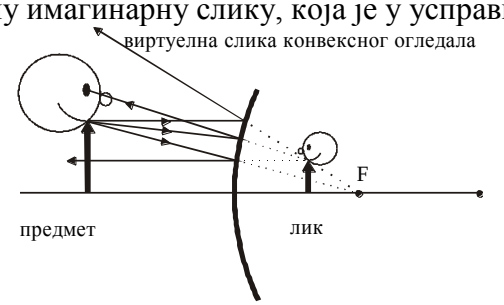
- супена кашика
- козметичко огледало које увећава

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Са растојања од око 30 cm посматрај сам себе, постави прво испупчен део кашике испред лица (конвексно огледало) тако да видиш усправну слику, а потом удубљен део тако да добијеш обрнуту слику (конкавно огледало). Помоћу козметичког огледала добија се увећана и усправна слика, односно оно представља конкавно огледало. Међутим ако станеш на пример на растојање од 2 m од увећавајућег огледала, у том истом огледалу слика ће стајати наопачке!

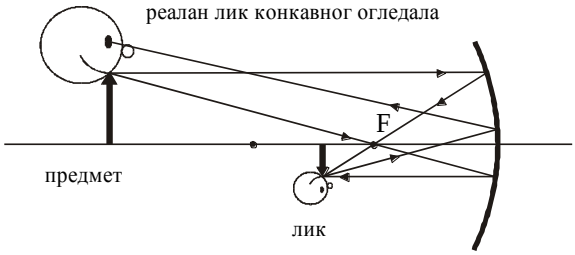
ОБЈАШЊЕЊЕ:

Кашика представља параболично огледала, код ког постоји само једна жижна даљина (слика 7.9-7.11). У случају да се понаша као конвексно огледало (слика 7.9) посматрач види умањену имагинарну слику, која је у усправном положају.



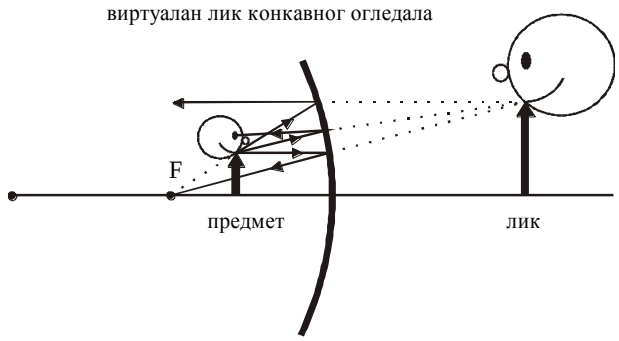
Слика 7.9. Кашика као конвексно огледало

Оно може образовати обрнуту слику односно може се понашати као конкавно огледало. Једно конкавно огледало даје реалну, обрнуту слику (слика 7.10), ако је растојање посматрача од огледала веће од жижне даљине огледала. Жижна даљина за кашику износи само неколико центиметара, односно акомодационе способности ока условљавају растојање на ком ће неко видети јасну слику (најмање растојање је приближно 10 cm).



Слика 7.10. Кашика као конкавно огледало – реалан лик

Ипак ако је растојање између посматрача и конкавног огледала мање од жижне даљине, могуће је видети виртуелну, увећану и усправну слику (слика 7.11). Она је утолико већа уколико је посматрач ближе жижној даљини. Зато увећавајућа козметичка огледала имају релативно велику жижну даљину, приближно 0,5 m. Но, ако се неко у таквом огледалу помери на велико растојање може да види како му лице постаје обрнуто!



Слика 7.11. Кашика као конкавно огледало – имагинаран лик

Запажања

Овера:

7.2.7. ИНСТАНТ НАОЧАРЕ ЗА КРАТКОВИДЕ

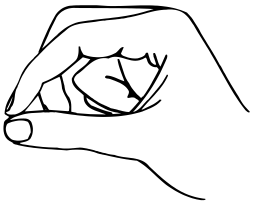
(*кратковидост – изоштравање - бленда*)

Кратковидост се не мора кориговати само помоћу сочива, него је могуће користити бленде.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- ништа
- можда комад папира са једном малом рупом

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:



Експеримент се једноставно изводи, са особама које имају наочаре које коригују кратковидост. За особе са нормалним оком постоји алтернативни експеримент, који задовољава њихову потребу за истраживањем.

На добро осветљеној табли се дебелом кредом нацрта: звезда, круг, слово...

(а) Експеримент за особе које носе наочаре

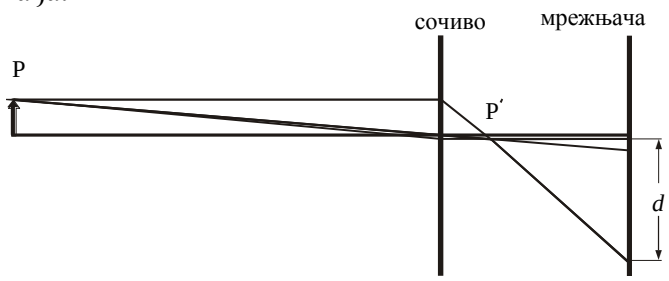
Скините наочаре. Станите на растојању на ком фигуре на табли не видите јасно, затворите једно око и посматрајте фигуру кроз бленду постављену на друго око, тако да се фигура види оштро. Лако подешавајућа бленда направљена је од палца, кажипрста и средњег прста – направите рупицу као што је приказано на слици, при чему се величина пречника отвора подешава помоћу средњег прста.

(б) Експеримент за нормално око

Поставите руку хоризонтално, у висини очију и фокусирајте једним оком, кроз отвор направљен од прстију, преко палца, фигуру на табли. Ако се види оштра слика, треба померити палац да она не буде јасна. Поновити експеримент са овако направљеном блендом све док слика на табли не постане јасна.

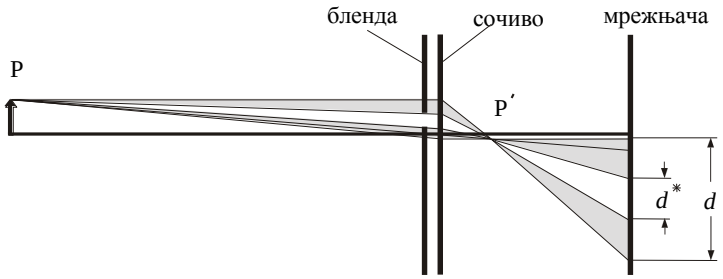
ОБЈАШЊЕЊЕ:

На слици 7.12 је приказано шта се у овом експерименту у случају некориговане кратковидости догађа:



Слика 7.12. Формирање лика код кратковидог ока

Лик тачке P (врх предмета) у односу на очно сочиво представља тачка P´. Код кратковидог ока тачка P´ се у сваком случају не налази на мрежњачи. На мрежњачи се уместо тачке образује размазано подручје величине d. У случају кратковидог ока, очно сочиво јаче прелама светлосне зраке, тако да се жижа упадног снопа налази испред мрежњаче. Ово се догађа услед слабљења мишићно-везивног апарата, који није у могућности да акомодира око на потребан облик. Зато је слика тачке нејасна и размазана. Кратковиди људи добро виде блиске предмете и за то их приближавају на растојање од 15-20 cm. Кратрковидост се коригује наочарима са расипним сочивима, а може се користити и бленда.
На наредној слици разјашњава се утицај бленде:



Слика 7.13. Корекција кратковидости помоћу бленде

Ако се мала, прстима направљена бленда, постави директно испред очног сочива она елиминише шрафирани део светлосних зрака, што за последицу има смањење размазане области, $d^* < d$ на мрежњачи. Ако би се помоћу акомодирајућих својстава ока ово растојање свело на најмање растојање $d_{\min}$, добила би се јасна, односно оштра слика предмета. Постоје два ограничавајућа фактора:
- колико мали отвор се може направити помоћу прстију
- елиминацијом дела светлосних зрака смањује се интензитет светлости која пада на мрежњачу.

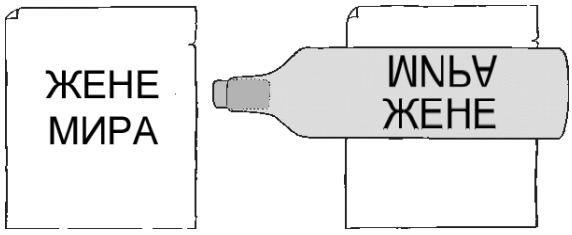
Разлика између сочива и бленде је следећа: сочиво наочара помера слику на мрежњачу, а бленда сужава размазану област лика предмета на мрежњачи и повећава оштрину лика.

Запажања

Овера:

7.2.8. НА БОЈУ „ОСЕТЉИВО“ СОЧИВО

(сочиво - цилиндрично сочиво - слика)



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- провидна флаша са затварачем
- лист папира и фломастер
- вода

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

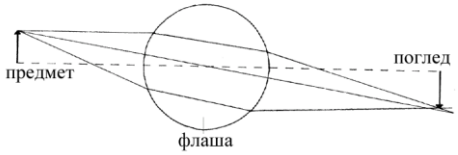
Провидну флашу напуни водом и затвори. На листу папира напиши великим словима:

ЖЕНЕ или **ВЕЖЕ**
МИРА алтернатива **МИША**

Држи флашу на растојању најмање 5 cm водоравно испред натписа и кроз њу посматрај натпис. Једна реч стоји наглавце (МИРА) а друга (ЖЕНЕ) изгледа као да се ништа није догодило.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

У односу на уздужну осу, флаша има попречни пресек кружног облика, тако да изгледа као да је на пут зрака постављено биконвексно сочиво (слика 7.14).



Слика 7.14. Флаша као биконвексно сочиво

Тако настаје слика која се формира помоћу флаше. Растојање између слике и натписа, као и између флаше и посматрача, мора зато бити веће од жижне даљине сочива. У правцу уздужне оса флаше нема закривљености (цилиндрично сочиво).
Приликом проласка кроз флашу долази до паралелног померања зрака, тако да слика која настаје има десну и леву страну, које не морају бити исте. У већини случајева натпис је обрнут. За одређена слова (због симетрије) као да ово правило ипак не важи! Ако натписе напишете различитим бојама, посматрач ће претпоставити да постоји веза између боје и оваквог понашања и тражиће некакво физичко објашњење (на примеру везу са индексом преламања за плаву и црвену светлост...) Ако флашу напуните само до половине водом, настаје планконвексно сочиво. У овом случају обртање слике се не догађа.

Запажања

Овера:

7.2.9. КАКО МОЖЕШ "ОДУВАТИ" СВЕТЛОСТ

(*оптичка густина - преламање - индекс преламања - расипање)*

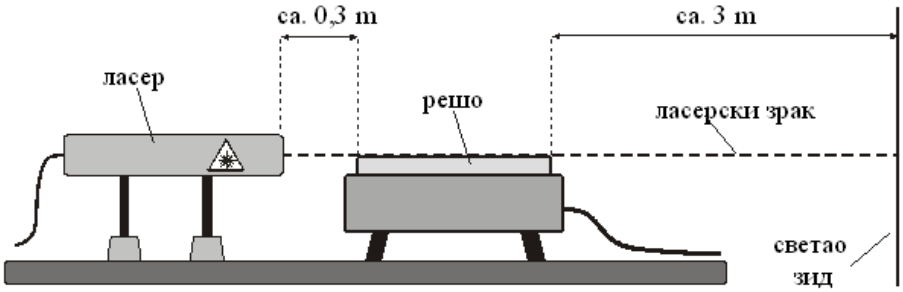
Сноп светлости који се пусти изнад загрејане металне плоче, може послужити као доказ да оптичка густина ваздуха зависи од температуре.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- He-Ne-ласер или ласер поинтер
- решо
- равна метална плоча (10 cm × 10 cm × 0,5 cm)
- бунзенов пламеник за загревање металне плоче
- држач
- гумица за косу

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

У добро замраченој соби постави се ласер, тако да ласерски зрак буде паралелан површини загрејане плоче решоа. Ласерски зрак треба да је тако усмерен да пада на светао зид који се налази приближно 3 m иза плоче. Да би се ласерски зрак усмерио у жељеном правцу, ласер се постави на статив.

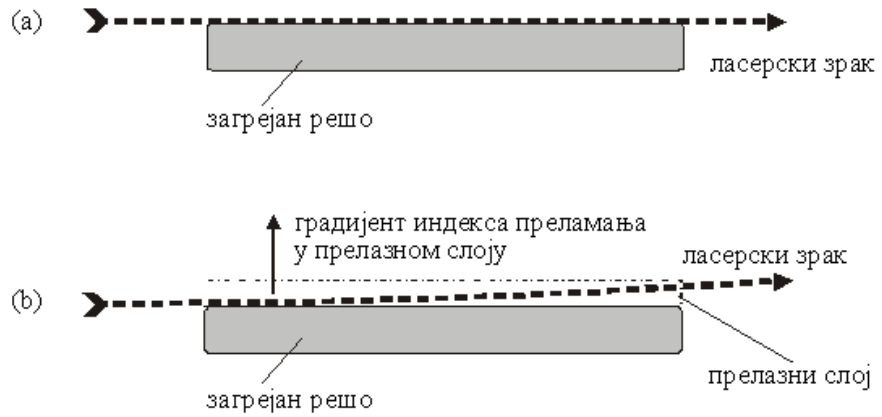


Ако се употребљава ласер поинтер који уобичајено има један тастер, тастер се може фиксирати гумицом. Ако плоча решоа нема равномерно загревање постави се преко ње метална плоча, при чему се мора пазити да не дође до неконтролисане рефлексије ласерског зрака од металне плоче. Уколико немате решо, може се метална плоча загревати Бунзеновим пламеником.

Ако се дуне преко загрејане плоче, ласерски зрак ће практично бити “одуван” од плоче. Посматрајте светлу тачку зрака на зиду, за време док нека друга особа дува. Мора се водити рачуна да особа која дува не стоји близу ивице металне плоче.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Загрејан ваздух на одређеној висини изнад плоче има исту температуру и исту оптичку густину. Ласерски зрак се креће по правој линији дуж металне површине (слика 7.15).



Слика 7.15. Ласерски зрак изнад плоче решоа

Када се дува преко плоче образује се танак прелазни температурни слој у ком ваздушна струја опада. Хладан слој има већи индекс преламања од топлог, те настаје градијент индекса преламања. У оптички анизотропној средини светлост скреће од првобитног правца, што се манифестује померањем светле тачке, коју образује ласерски зрак на зиду, нагоре.

Запажања

Овера:

8. ЕЛЕКТРИЦИТЕТ И СТРУЈЕ

У овом делу је приказано 10 једноставних експеримената којима се демонстрирају одређене електричне појаве и појаве у вези са електричном струјом. Експерименти од редног броја 8.2.1-8.2.7 као и 8.2.10, могу се прилагодити ученицима најнижег узраста, од I-IV основне школе, приликом увођење основних појмова из електрицитета. Са образложењима вишег нивоа могу се изводити са ученицима осмог разреда основне школе, а експерименти „Симулација непогоде“ и „Мехури сапунице у електричном пољу“ погодни су и за ученике II разреда гимназије.

8.1. Теоријски подсетник

8.1.1. Наелектрисање

Наелектрисање је својство супстанције. Електрони и протони поседују потпуно једнаку, али разноимену количину наелектрисања (елементарно наелектрисање e =1.6022·10^{-19}C). Електрони су негативно, а протони позитивно наелектрисане честице. Атоми су електронеутрални јер садрже једнак број протона и електрона. Уколико је нарушен њихов однос, постају наелектрисани (јони).

Наелектрисање тела је квантована величина, може се мењати само скоковито, за износе елементарног наелектрисања. ***Наелектрисана*** су она тела која имају вишак или мањак једне врсте носилаца наелектрисања.

Неутрална (ненаелектрисана) тела поседују једнаке количине позитивног и негативног наелектрисања.

Према ***закону одржања количине наелектрисања*** за време било каквог процеса, количина наелектрисања изолованог система остаје константна (одржава се). Не постоји стварање наелектрисања, већ се оно само преноси између тела.

Наелектрисавање тела се врши на разне начине (трењем, додиром са наелектрисаним телом, загревањем, зрачењем, индукцијом …), чиме се нарушава однос између протона и електрона у телу.

Близина наелектрисаног тела код електронеутралних молекула електричних изолатора изазива раздвајање центара позитивног и негативног наелектрисања (молекули процесом ***поларизације*** постају електрични диполи) и одговарајућу оријентацију молекула. Удаљавањем наелектрисаног тела, молекули се враћају у првобитни, неутрални облик.

Електрични проводници су материјали у којима се наелектрисања слободно крећу. ***Електрични изолатори*** (***диелектрици***) су материјали у којима се наелектрисања не могу слободно кретати. ***Полупроводници*** се налазе између те две класе материјала.

8.1.2. Кулонова сила и електрично поље

Сила којом се наелектрисана тела привлаче или одбијају назива се електрична, односно ***Кулонова сила***. Електричне силе могу бити привлачне (између разноимених наелектрисања) или одбојне (између истоимених наелектрисања). Она

има правац линије која спаја наелектрисана тела, обрнуто је пропорционална квадрату растојања између тела, директно је пропорционална производу количина наелектрисања на телима. Кулонов закон строго узевши важи само за тачкаста наелектрисања, а приближно и за сферна тела, или тела занемарљивих димензија у поређењу са међусобним растојањем:

$$\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{r}_0 \ , \ k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \qquad 8.1$$

где је:

ε_0 – диелектрична константа (пермитивност) вакуума

r – растојање између наелектрисања,

q_1 и q_2 – количине наелектрисања

$\vec{r}_0$ - јединични вектор

Јачина електричног поља (у [V/m] или у [N/C]) **у некој тачки простора** око наелектрисања q које га ствара једнака је сили по јединици пробног наелектрисања ($+q_0$) којом то наелектрисање q делује (привлачи или одбија) пробно наелектрисање $+q_0$:

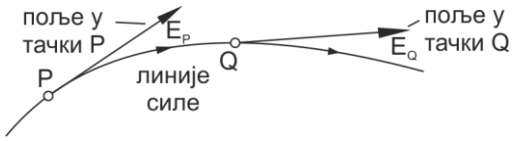
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad 8.2$$

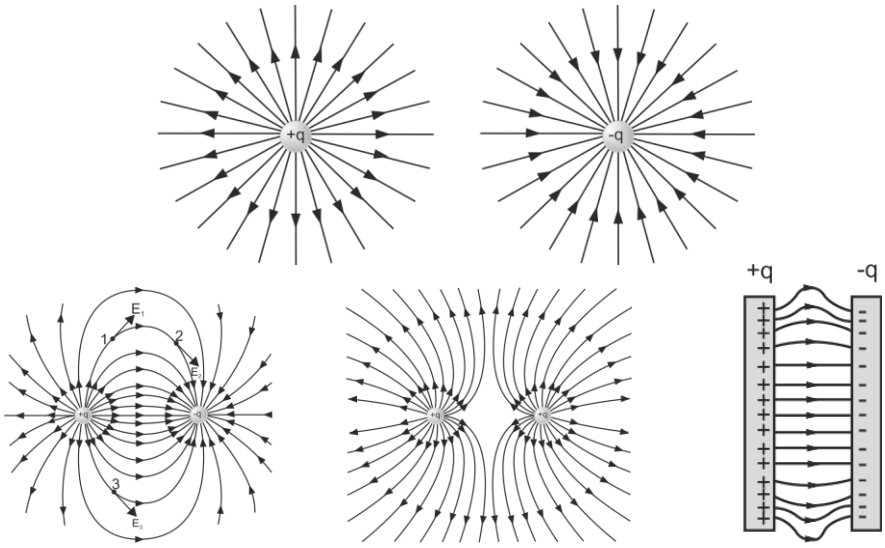
За тачкасто наелектрисање:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{r}_0 \qquad 8.3$$

Расподела наелектрисања, односно њихова површинска густина, зависи од геометријског облика површине проводника. Густина наелектрисања и јачина поља су утолико већи уколико је закривљеност површине већа, максимални су на шиљцима и тај ефекат се назива ***ефекат шиљка***.

Електрично поље је векторско поље - приказује се ***линијама сила*** у простору око наелектрисања од којег то поље потиче. Линије сила имају смер од позитивног ка негативном наелектрисању и то одређује смер поља, као да извиру из позитивног наелектрисања, а пониру у негативно наелектрисање. Тангенте на линије сила одређују правац вектора јачине електричног поља $\vec{E}$ у датој тачки простора. Линије сила електричног поља се не пресецају међусобно.





Слика 8.1. Линије силе електричног поља

Ако постоји вишак наелектрисања у проводнику, оно се расподељује на његовој површини, услед одбојних сила од стране других истоимених наелектрисања.

Потенцијална енергија коју поседује пробно наелектрисање q_0 у датој тачки поља наелектрисања q дата је изразом:

$$E_P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r} \qquad 8.4$$

Потенцијал електричног поља у датој тачки је потенцијална енергија коју у тој тачки поседује **јединично позитивно наелектрисање**:

$$\varphi = \frac{E_P}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} \qquad 8.5$$

Потенцијал је **карактеристика поља у датој тачки простора**. Јединица за потенцијал је волт [V]. Потенцијал може бити позитиван или негативан (што зависи од смера вектора електричног поља и знака наелектрисања). Потенцијал се може дефинисати и као рад који изврше силе поља над јединичним позитивним наелектрисањем при његовом премештању из дате тачке у бесконачност.

Електрични напон, U, је једнак разлици потенцијала $\Delta\varphi$ између две тачке електричног поља:

$$U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A \qquad 8.6$$

Електрични напон или разлика потенцијала између тачака B и A је рад који треба извршити да би се јединично позитивно наелектрисање преместило из тачке A у тачку B (чиме се утиче на промену његове потенцијалне енергије у том пољу):

$$U_{BA} = \frac{A_{AB}}{q_0} \qquad 8.7$$

Позитивно наелектрисање убрзава са места вишег потенцијала ка месту нижег потенцијала.

8.1.3. Електрична струја

Електрична струја је усмерено кретање носилаца наелектрисања под дејством електричног поља.

Носиоци наелектрисања су:

- електрони у металима,
- електрони и шупљине у полупроводницима,
- позитивни и негативни јони у електролитима,
- електрони и позитивни и негативни јони у јонизованим гасовима.

За одржавање тока електричне струје, неопходно је одржавање сталне разлике потенцијала (електричног поља) између различитих тачака проводника. За то служе ***електрични извори*** - батерија, акумулатор, генератор...

Јачина (интензитет) електричне струје је количина наелектрисања која прође кроз попречни пресек проводника у јединици времена. Вредност јачине електричне струје:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}\,[\mathrm{A}] \qquad 8.8$$

По конвенцији је узето да се смер струје поклапа са смером кретања позитивних носилаца наелектрисања у електричном пољу, а супротно електронима, носиоцима наелектрисања у металним проводницима.

Густина струје j је векторска величина која дефинише правац и смер струје и чији интензитет представља количник јачине струје и попречног пресека кроз који тече:

$$j = \frac{I}{S} \qquad 8.9$$

Једносмерна струја је она код које електрично поље све време задржава смер, при чему може имати сталну или променљиву величину.

У електричним изворима (изворима електромоторне силе) се неелектрична енергија претвара у електричну, а позитивна наелектрисања се преносе са нижег на виши потенцијал, а негативна обрнуто.

Електромоторна сила се дефинише као рад који је потребно извршити да би се јединично позитивно наелектрисање пренело са нижег на виши потенцијал извора. Извори према врсти енергије коју претварају у електричну могу бити: хемијски, топлотни, механички,…

Омов закон дефинише везу између струје која протиче кроз проводник и разлике потенцијала на његовим крајевима:

$$U = R\,I \qquad 8.10$$

Разлика потенцијала, напон U, на крајевима проводника сразмеран је јачини струје I која протиче кроз проводник. Коефицијент сразмерности између напона U и јачине струје I је електрична (термогена) отпорност R.

За хомогени проводник константног попречног пресека ***електрична отпорност*** је:

$$R = \rho \frac{l}{s} \ [\Omega] \qquad 8.11$$

где је ρ ***специфична отпорност*** материјала и зависи од температуре:
$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t)$, ρ_0 - специфична отпорност на температури од 0^oC
l – дужина проводника,
s – површина попречног пресека проводника.

Снага је енергија утрошена у јединици времена. ***Снага електричне струје*** једнака је производу напона и електричне струје $P=UI$. Јединица за снагу је ват [W].

Када плаћамо електричну енергију, плаћамо утрошене киловат сате, а не киловате. Када кажемо да је снага наше електричне рерне 2 kW, то значи да ће она кроз 1 сат потрошити 2 kWh енергије. Колико енергије трошимо током дана, зависи од тога колико је сати укључена наша рерна.

Рад електричне струје у случају отпорника као потрошача претвара се у топлоту. Џул-Ленцов закон је посебан облик закона одржања енергије за трансформацију електричне енергије у топлотну:

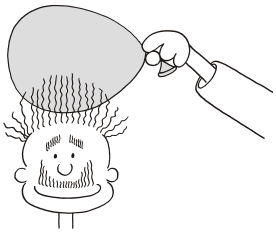
$$Q = UIt \qquad 8.12$$

где је Q -количина топлоте која се ослободи за време t, U - напон на крајевима отпорника, I - јачина струје која протиче кроз отпорник.

Наизменична струја је она којој се смер мења у току времена.

8.2. Једноставни експерименти

8.2.1. УЧИНИ ДА ТИ КОСА СТОЈИ УСПРАВНО



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Балон

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Надувај балон, завежи га и протрљај о вунени џемпер или свеже опрану косу. Држи балон мало са стране а потом га принеси коси. Посматрај шта се догађа.

Ово се догађа и када облачиш вунени џемпер зими преко главе. Овакве појаве обично можеш да приметиш у зимском периоду када је ваздух веома сув. Током лета ваздух је много влажнији, па се овакве појаве не догађају често.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Зашто се то догађа? То је због статичког електрицитета! Када протрљаш балон о косу, или вуну, на њега прелази мало негативног наелектрисања. Сва коса је наелектрисана истом врстом наелектрисања, која се одбијају. Другим речима свака длака косе покушава да буде што даље од осталог дела косе. Оне стоје усправно на што је могуће већем растојању једна од друге. Наравно говоримо о лошем дану за фризуру! У току лета када ваздух садржи више влаге, вода помаже електронима да брже напусте различита тела, те појава њиховог наелектрисања изостаје.

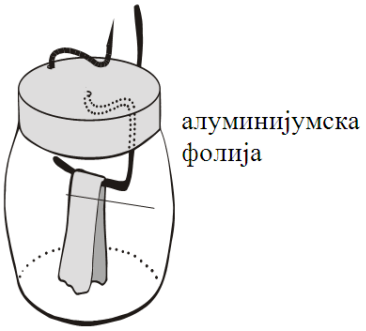
Запажања

Овера:

8.2.2. ЕЛЕКТРОСКОП У ТЕГЛИ МЕДА

(*електроскоп – наелектрисање – инфлуенца*)

Помоћу једноставно направљеног електроскопа, могуће је показати величину одбијања истоименог наелектрисања.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Празна тегла од меда са поклопцем
- Метална спајалица
- Алуминијумска фолија

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Направи на поклопцу тегле малу рупу (пречника 1 - 2 mm) Кроз отвор провуци спајалицу тако да се не може окретати (као на слици). Обеси исечену траку од алуминијумске фолије на спајалицу, тако да јој крајеви буду паралелни. Овако припремљеним поклопцем затвори теглу.

Додирни наелектрисаним штапом спољашњи део спајалице и посматрај шта се дешава. Растојање између крајева алуминијумске траке се повећа. Када се наелектрисани предмет уклони отклон између крајева алуминијумске траке остаје. Ако се жица руком уземљи крајеви траке се врате у првобитан положај. Ако се наелектрисани предмет приближи електроскопу, отклон између трака је утолико већи уколико је предмет ближи електроскопу.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Када се жица (спајалица) додирне наелектрисаним предметом, долази до преласка наелектрисања са предмета на жицу, а потом на алуминијумске листиће. Обзиром да су траке наелектрисане истоименим наелектрисањем, оне се одбијају. Када се наелектрисани штап уклони, ако је жица добро изолована, растојање између трака остаје. Ако се жица додирне руком, односно повеже се са Земљом, траке се разелектришу и врате у првобитан паралелан положај. Ако се електроскопу приближи, на пример, негативно наелектрисан штап, услед инфлуенце долази до раздвајања наелектрисања, те део жице ближи штапу постаје позитивно, а листићи негативно наелектрисани. Листићи се раздвајају, а отклон остаје све док се штап не уклони.

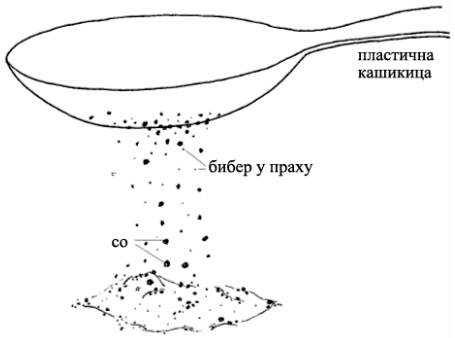
Запажања

Овера:

8.2.3. ОДВАЈАЊЕ СОЛИ ОД БИБЕРА

(*наелектрисање – наелектрисање трењем – поларизација – Кулонова сила*)

Помоћу наелектрисаног предмета могуће је раздвојити со и бибер.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Со и бибер
- Пластична кашика или балон
- Вунена крпа

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Наелектрисати трењем пластичну кашику или балон. Помешати со и бибер и лагано приближити наелектрисан предмет смеши.

Зрнца бибера скачу ка наелектрисаном предмету, док со остаје да лежи не померајући се. Ако се наелектрисани предмет још више приближи смеши и со бива привучена ка предмету. Већи део соли и бибера остаје на наелектрисаном предмету док мањи пада на подлогу. Нека зрна поново скачу ка предмету и потом поново падају на подлогу.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Зрнца соли су јонски кристали. Позитивни и негативни јони Na^+ и Cl^- имају приближно сферну симетрију. У нехомогеном електричном пољу наелектрисаног предмета, електростатичка сила делује на јоне на површини кристала, незнатно их помера и тако настаје раздвајање наелектрисања у унутрашњости кристала. Зрнца бибера се углавном састоје од угљоводиничних ланаца, са одређеним атомским групама ($C_{17}H_{19}NO_3$ – дају биберу јак укус), које бивају раздвојене у електричном пољу наелектрисаног предмета.

Електростатичка сила, која је већа од силе теже која делује на зрна соли и бибера, привлачи их ка предмету. При том зрна фино самлевеног бибера, по правилу имају мању масу од зрна соли, те одскоче даље. Предмет који се таре вуненом крпом, није потпуно равномерно наелектрисан, него постоје области које поседују веће наелектрисање. Због тога висина до које скочи зрно под утицајем привлачне електростатичке силе која делује између њега и предмета, зависи од места на ком се оно налази, величине поларизације зрна, као и масе зрна. Међутим, потпуно раздвајање зрна соли и бибера се не постиже.

Запажања

Овера:

8.2.4. КАКО САВИТИ МЛАЗ ВОДЕ?

(*наелектрисање – електрични диполни момент – електрично поље – сила дипола*)

Млаз воде се може савити помоћу наелектрисаног предмета, зато што молекули воде представљају електричне диполе.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Чешаљ, пластична кашика, балон
- Вунена крпа

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Протрљати вуненом крпом предмет који желимо да наелектришемо (чешаљ, пластична кашика, балон). Предмет се може наелектрисати ако га провучемо неколико пута кроз опрану, чисту, осушену косу.

Принети наелектрисан предмет млазу воде. Посматрати шта се догађа. Млаз се савије. Ако наелектрисан предмет и млаз воде ступе у контакт, посматрати шта се догађа. Млаз се исправи.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Молекули воде представљају електричне диполе, који поседују перманентни електрични диполни момент. Уколико нема спољашњег поља електрични диполи су неуређени, односно налазе се у стању хаотичног термичког кретања. У нехомогеном електричном пољу, које се створи кад се наелектрисани предмет принесе млазу воде, електрични диполи се уређују у правцу поља. У нехомогеном електричном пољу на диполе делују различите силе, а резултујућа сила, која делује између електричних дипола воде и наелектрисаног предмета, савија млаз воде. Ако млаз воде и наелектрисани предмет ступе у непосредан контакт, долази до преноса наелектрисања са предмета на млаз воде и предмет се разелектрише. Молекули воде се више не налазе у електричном пољу и поново су неуређени. Зато се млаз воде поново исправља.

Запажања

Овера:

8.2.5. ИГРАЈУЋИ ПАПИРИЋИ

(*трибоелектрицитет – наелектрисање – поларизација*)

Због наелектрисања пластичне плоче долази до поларизације делића папира, који „играју“ у електричном пољу.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Пластична плоча
- Две дебеле књиге
- Пуно лаких папирића
- Крзно или вуна, или вунени џемпер

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Исећи на ситне делове (величине нокта) лак папир. Поставити две дебеле књиге на сто, а између њих папириће. На књиге ставити пластичну плочу. Плочу трљати, на пример, вуненом крпом, све док папирићи не почну да се исправљају. Неки ће се подићи до плоче и поново одбити од ње, а други ће остати на плочи. Неки ће се привидно лепити један на други градећи разигране парове.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Трењем се пластична плоча наелектрише негативним наелектрисањем. Електрично поље, које потиче од плоче, доводи до поларизације наелектрисања у папирићима (диелектрику). Папирићи се подижу, јер су својим позитивним крајем окренути ка плочи и привучени од стране плоче. Лаки папирићи се јако приљубе за плочу и одвоје од стола. Ако је контакт између плоче и папирића слаб, на папириће не може да пређе негативно наелектрисање и они остају приљубљени уз плочу. При добром контакту електрони прелазе са плоче на папириће и они се наелектришу негативно. Овакви папирићи се одбијају од плоче. Тако се трењем пластичне плоче вуненом крпом папирићи могу натерати у „дивљи плес“.

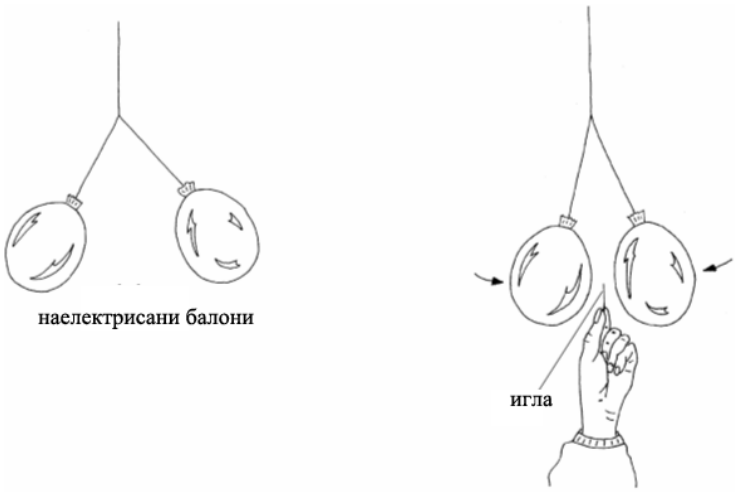
Запажања

Овера:

8.2.6. МОДЕЛ ФРЕНКЛИНОВОГ „ГРОМОБРАНА“

(*наелектрисање – електростатичка сила – поларизација – ефекат шиљка*)

Понашање истоимених наелектрисања, када се између њих постави метални шиљак, може се демонстрирати помоћу игле и два наелектрисана балона.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Два балона
- Конац дужине око 1 m
- Вунени џемпер
- Игла или чиода
- Лепљива трака

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Надувати два балона, завезати их концем, а потом оба конца везати за трећи и причврстити лепљивом траком за, на пример, зимско ћебе (види слику). Ако се оба балона протрљају истим материјалом, на пример коса или вунени џемпер, одбијаће се и стајати на одређеном растојању један од другог.

Ако се метални шиљак, на пример игла или чиода, руком принесу између балона, балони се крећу један према другом (види слику). Ако се игла удаљи они остају у истом положају, близу један другом.

Ако желимо да прикажемо само узајамно одбијање балона, потребно је један балон концем причврстити за ћебе. Ако се наелектрисани балон приближи ненаелектрисаном, ненаелектрисан балон се помера из положаја мировања, односно бива одбијен.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Ако се балони протрљају погодним материјалом (вуна, коса..) они се наелектришу. Врста наелектрисања зависи од материјала којим се наелектришу. Обзиром да су наелектрисани истоименим наелектрисањем, они се одбијају. Претпоставимо да су балони наелектрисани негативним наелектрисањем. Ако им се приближи игла, елктрони у металу се, услед индукције, скупе на доњем крају игле и преко руке одводе у Земљу. Врх игле је позитивно наелектрисан и привлачи негативно

наелектрисане балоне. На позитивно наелектрисаном шпицу долази до пражњења. Линије поља у близини шпица су велике густине, односно у близини шпица се образује јако електрично поље. У ваздуху су присутни носиоци наелектрисања (јони настали услед космичког зрачења), који у јаком пољу имају довољну енергију да изврше даљу јонизацију. Настали јони разелектришу балоне, тако да се после уклањања игле они више не одбијају.

Сазнање о овој појави искористио је американац Бенџамин Френклин (Benjamin Franklin, 1706-1790) да помоћу металног шиљка спречи удар грома. У писму написаном 1747. године каже:

„Оловна кугла пречника 3-4 цола постави се на отвор осушене флаше. Изнад отвора флаше постави се ослонац, на њега се учврсти свилен конац, на ком виси сасвим мали део плутаног чепа. Конац мора бити такве дужине, да чеп лежи на оловној кугли. Ако се оловна кугла наелектрише, плутани чеп ће бити одбијен. У средину овог растојања постави се врх шрафцигера и јасно се може видети како се плутани чеп враћа на оловну куглу.” Френклин је између осталог рекао да то није ништа ново и да је било познато још у старој Европи.

Запажања

Овера:

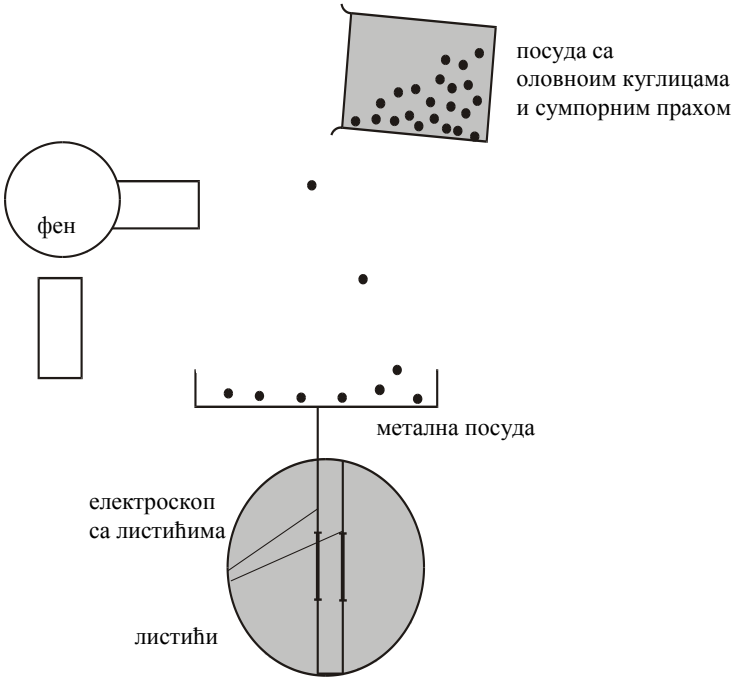
8.2.7. СИМУЛАЦИЈА НЕПОГОДЕ

(*наелектрисање – наелектрисавање трењем – непогода*)

Наелектрисање трењем у олујном облаку може се симулирати неутралном смешом две наелектрисане супстанције, које се услед трења делића различите тежине наелектришу.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Електроскоп са листићима
- Метална шоља или посуда, која се може поставити на електроскоп
- Стаклена чаша
- Гвоздене куглице (пречника 3 mm)
- Сумпорни прах
- Фен



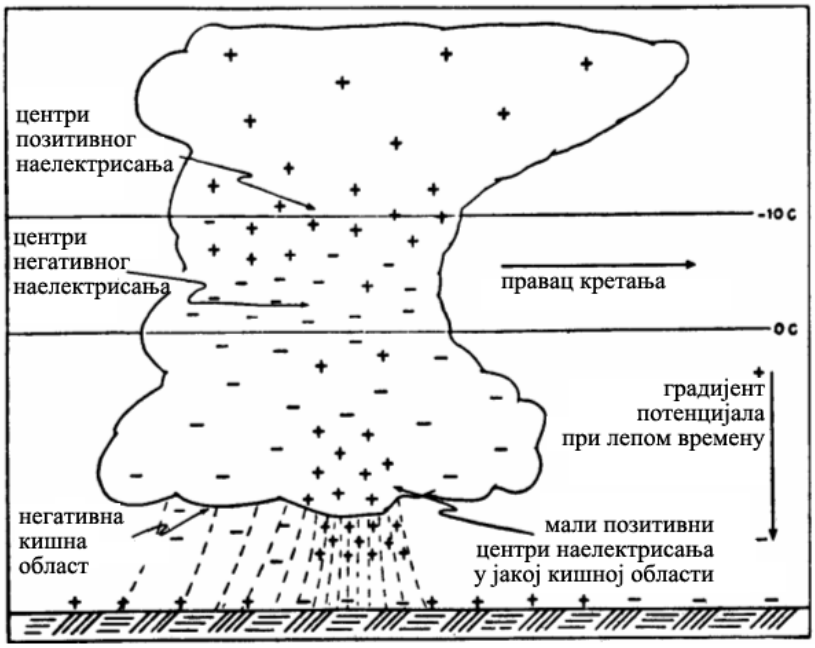
ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Поставити металну посуду на електроскоп (види слику). Продрмати чашу за воду у којој су металне куглице и прах сумпора. Непроводним штапом (на пример стакленим) промешају се гвоздене куглице и сумпорни прах. Ставити стаклену чашу око 10 cm изнад металне посуде и сипати њену садржину у посуду. При том фен усмерити тако да садржај чаше пролази кроз струју топлог ваздуха. Струја

топлог ваздуха одува скоро сав сумпорни прах из падајуће смеше, тако да у металну посуду упадну све металне куглице са веома мало сумпорног праха.
Листићи електроскопа се размакну показујући постојање наелектрисања у металној посуди.

ОБЈАШЊЕЊЕ:
Атоми сумпора формирају осмоугаони прстен. Када се чаша у којој се налазе металне кугле и сумпор продрма прстен се разара, те настају радикали са неспареним електронима, који се преносе са сумпора на металне кугле. Сумпор постаје позитивно наелектрисан, а металне кугле негативно наелектрисане. Обзиром да су гвоздене куглице теже од честица сумпора, топла струја ваздуха коју производи фен мање утиче на њихов пут него што је то у случају лаких честица сумпора. Честице сумпора бивају одуване, а у металну посуду падају само негативно наелектрисане гвоздене куглице. Размакнути листићи електроскопа показују наелектрисање гвоздених куглица.

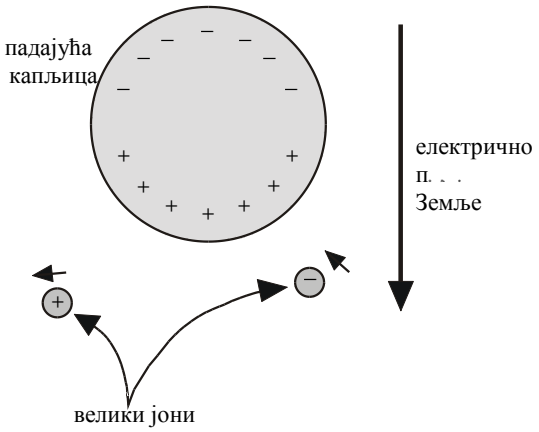
Догађаји за време непогоде, могу се описати на сличан начин. Претпоставимо пре свега да се непогода може поделити на више еквивалентних ћелија облака (појединачних облака) и да у унутрашњости облака постоји одређена расподела наелекетрисања. Ћелија облака је у горњем делу позитивно, а у доњем делу негативно наелектрисана (слика 8.2).



Слика 8.2. Електричне појаве у атмосфери

Раздвајање наелектрисања догађа се услед узајамног деловања између присутних састојака типичних за олујне облаке: воде, ваздуха и кристалића леда. Ово узајамно деловање остварује се преко: додира делића исте врсте а различите величине, разарањем и распадањем делова, Волтиним ефектом између делова исте или различитих фаза, електрохемијских процеса, као и механизама наелектрисања трењем које је описао Фајнман (Richard Feynman, 1918-1988).

Посматрајмо ненаелектрисану честицу која пада, крећући се у електричном пољу величине око $100\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{m}}$, на негативно наелектрисану Замљу. У капи се индукује електрични дипол који је својим (+) полом окренут ка Земљи (слика 8.3). Услед деловања космичког зрачења у атмосфери постоје позитивни и негативни јони (на пример електрони и позитивни јони киселина). Када се капљици приближи позитиван јон, на основу електростатичког одбијања, она се заокрене на страну. Топао ваздух се у односу на кап пење навише, јон бива захваћен струјом ваздуха и више није повезан са капљицом. Неки од негативаних јона ће бити привучени од стране капљице и ступити у контакт са њом образујући у доњем унутрашњем делу ћелије облака, слој негативног наелектрисања, док позитивни јони који потичу од различитих присутних струјања, запоседају горњи део ћелије облака.



Слика 8.3. Падајућа капљица као дипол

Запажања

Овера:

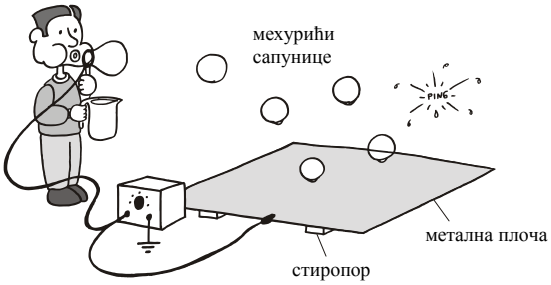
8.2.8. МЕХУРИ САПУНИЦЕ У ЕЛЕКТРИЧНОМ ПОЉУ

(*наелектрисање – потенцијал – високи напон – електрично поље*)

Наелектрисани мехури сапунице, због електростатичког одбијања истоимених наелектрисања, лебде изнад наелектрисане металне плоче.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Метална плоча површине 1m², или алуминијумска фолија
- Високонапонски уређај (10 kV)
- Концентрат сапуна за мехуре сапунице
- Метална жица
- Пластичан штап
- Стиропор
- Каблови



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Направити од металне жице прстен пречника око 5 cm и причврстити га на пластичан држач (због изолације). Повезати жичани прстен са + полом високонапонског извора и наместити напон на око 8 - 10 kV. Поставити металну плочу на подлогу од стиропора и повезати је са + полом извора. Потопити жичани прстен у концентрат сапунице и потом дувати балоне сапунице преко металне плоче. Посматрати мехуре сапунице – они лебде изнад плоче.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Помоћу високонапонског уређаја наелектришу се позитивним наелектрисањем и метална плоча и метални прстен. И мехури сапунице се преко прстена наелектришу позитивно. Када се мехур сапунице нађе изнад плоче наелектрисане истоименим наелектрисањем, долази до одбијања. Мехур лебди изнад плоче на висини на којој су одбојна електростатичка сила и сила теже која делује на мехур исте.

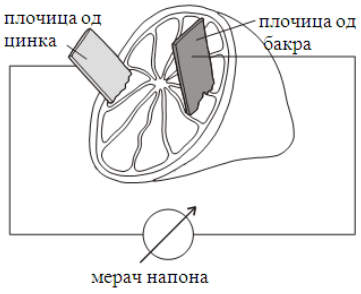
Запажања

Овера:

8.2.9. ЛИМУН КАО БАТЕРИЈА

(*електролит – јон – галвански елемент – електрохемијски потенцијал*)

Помоћу две металне плоче у киселој средини лимуна, могуће је направити галвански елемент.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Лимун или јабука, кромпир...
- Плоча од цинка и бакра (~ $3\ \mathrm{cm}^2$)
- Волтметар (мерно подручје ~ 1 V)

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Руком притиснути лимун о површину стола и закотрљати га. Пресећи лимун и у једну половину поставити плоче од цинка и бакра. Помоћу волтметра измерити напон који ће износити ~ 0,5 V, а одговарајућа краткотрајна струја ~ 0,09 mA.

Ако хоћете да повећате напон, повежите више лимунова са плочама од цинка и бакра (редна веза). Напони ће се сабрати.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Под притиском се разара део лимуна и на тај начин се олакшава кретање јона кроз електролит (вода и лимунска киселина). Лимун поседује малу концентрацију различитих јона. Елементарни цинк (Zn) служи као редукциона средина, (отпушта електроне), а јони (A^{m+}; где је m наелектрисање јона) као оксидациона средина (узимају електроне). На електродама се догађа следећа реакција:

$$3\,\mathrm{Zn} \rightarrow 3\,\mathrm{Zn}^{2+} + 6\,\mathrm{e}^-$$
$$6\,\mathrm{e}^- + n \cdot A^{m+} \rightarrow n \cdot A$$

$$3\,\mathrm{Zn} + n \cdot A^{m+} \rightarrow 3\,\mathrm{Zn}^{2+} + n \cdot A$$

где n представља број јона A^{m+} који учествују у реакцији. Јони цинка се разелектришу у лимуну, а јони лимуна (A^{m+}) се издвајају на бакарној плочи. Реакција престаје када остане премало јона, или када је бакарна плоча потпуно обложена јонима. На електроди од цинка, између негативно наелектрисане плоче од цинка и позитивних јона који се крећу ка цинку, настаје електрично поље. Што је више јона цинка у раствору, то је веће електрично поље између плоче и јона. При некој вредности поља престаје процес растварања цинка.

На бакарној плочи таложе се позитивни јони (A^{m+}). Они узимају електроне од атома бакра, тако да A^{m+} имају већу електронегативност од бакра. Реакција престаје када бакарна плоча постане потпуно обложена јонима, или када се на бакарној плочи, на основу електричног одбијања, не могу више сакупљати позитивни јони.

Ако се обе плоче повежу жицом, или мерним инструментом, долази до протицања електрона са плоче од цинка ка плочи од бакра. Може се мерити потенцијална разлика између бакарне и цинкане плоче.

Саставни делови галванског елемента окарактерисани су преко хемијског потенцијала:

- цинк: -0,76 V
- водена средина: 0 V
- бакар: 0,34 V

На основу њега се метали могу поделити на групу племенитих метала и осталих. На основу цинк/бакар елемента могуће је (без протицања струје) добити напон од 1,1 V.

Овакав експеримент извели су италијански физичари Луиђи Галвани (Luigi Galvani, 1737-1798) и Алесандро Волта (Alessandro Volta, 1745-1827), који су направили први галвански елемент.

Запажања

Овера:

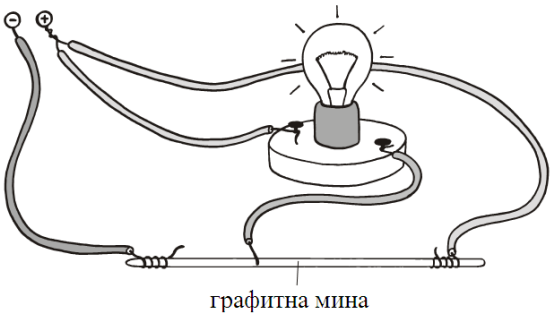
8.2.10. МИНА ОД ОЛОВКЕ КАО ПОТЕНЦИОМЕТАР

(*електрични отпор – напон*)

Мина од оловке може се искористити за регулисање интензитета светљења тињалице.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Мина од оловке (l~10 cm, r ~2 mm)
- Тињалица (снага 1 W, напон 2 V)
- Постоље за тињалицу
- Одговарајући извор напона
- Одговарајући каблови, клеме...



ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

На оба краја тињалице поставити каблове. Један повезати са (+) полом извора, а други, неизолованим делом, за један крај графитне мине. Трећи кабел повезати са (–) полом извора, а неизолованим крајем везати за други крај графитне мине (види слику). Укључити одговарајући напон из извора или батерије и струју контролисати померањем једног неизолованог кабла дуж мине.

Тињалица светли јаче или слабије у зависности од дужине мине између каблова. Уколико је дужина мине између каблова мања сијалица светли јаче.

Треба водити рачуна о дужини трајања експеримента, да се мина оловке не би прегрејала.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Графитна мина (погоднија је HB од 3B мине) поседује отпор који зависи од њених димензија (на пример HB мина дужине 10 cm, пречника 2 mm, има отпор 20 Ω). У овом експерименту се она користи као потенциометар. Мењајући положај неизолованог кабла, при истом напону, мења се интензитет светљења лампе. Интензитет светљења зависи и од величине напона на који је прикључена. Обзиром да при вишим напонима, односно температурама тињалица има већи отпор, потребно је извршити оптимизацију услова под којима се експеримент изводи, да би се током експеримента добило добро светљење лампе.

Запажања

Овера:

9. МАГНЕТИ

У овом делу је приказано 7 једноставних експеримената којима се демонстрирају неке особине магнета. Експерименти од редног броја 9.2.1-9.2.4 се могу прилагодити узрасту најмлађих ученика, почев од I разреда основне школе, а са образложењем вишег нивоа могу се радити са ученицима VIII разреда основне школе. Једноставни експерименти са редним бројем од 9.2.5-9.2.7 погодни су за извођење за ученике гимназија.

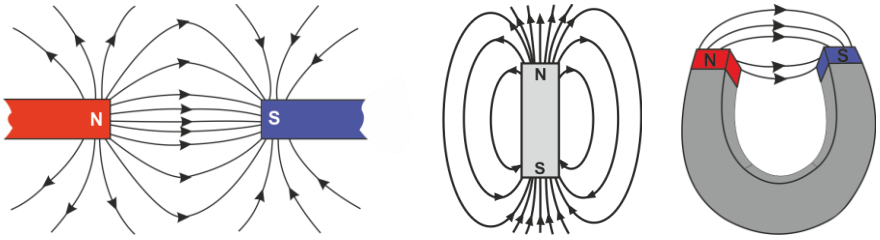
9.1. Теоријски подсетник

9.1.1. Магнетизам

Магнетизам је појава међусобног привлачења гвоздених предмета. Обзиром на начин настанка магнети могу бити: природни и вештачки. ***Природни*** или ***стални*** магнети су руда гвожђа – магнетит. ***Вештачки магнети*** могу бити стални (челик) или привремени (меко гвожђе). Материјали који се могу намагнетисати су гвожђе, никл, кобалт... По облику магнети могу бити у облику потковице, шипке, диска...

Око свих магнета постоји ***магнетно поље*** у коме делују магнетне силе. ***Магнетни полови*** су места где је способност привлачења магнета највећа. Способност привлачења је најслабија на средини магнета. Магнети имају два пола: северни (N-North) и јужни (S-South). Истоимени полови се одбијају, а разноимени се привлаче. Магнетни полови су нераскидиви, односно физички је немогуће имати магнет са једним полом.

Магнетно поље се графички представља ***линијама сила магнетног поља***. Оне су оријентисане тако да извиру из северног и увиру у јужни магнетни пол. Оне пролазе и кроз сам магнет, али ту имају смер од јужног пола ка северном. Линије сила магнетног полља су затворене линије које немају ни почетак ни крај.



Слика 9.1. Линије силе магнетног поља

Компас је инструмент којим се одређују стране света. Главни део компаса је лака магнетна игла која ротира око вертикалне осе. За одређивање страна света, компас се поставља у хоризонталан положај, и тада се магнетна игла својим северним врхом оријентише према северном полу одређујући правац север-југ. Земља се понаша попут џиновског магнета. Када је неки предмет намагнетисан, Земљин

Северни пол (који је заправо магнетни јужни пол) привлачи његов северни пол, а Земљин Јужни пол (који је заправо магнетни северни пол) привлачи његов јужни пол. По том принципу ради компас.

Магнетни дипол представља затворен кружни проводник кроз који тече електрична струја. У спољашњем магнетном пољу магнетни дипол се понаша слично као магнетна игла.

Магнетно поље у свакој тачки карактерише се векторском величином коју зовемо ***јачина магнетног*** поља ($\vec{H}$). Јединица за магнетско поље је A/m. Ако се кроз два паралелна проводника пропусти електрична струја, они ће се привлачити у случају да је смер струја у оба проводника исти, или одбијати, ако су струје супротног смера. Оваква, електродинамичка, сила јавља се између било која два наелектрисања у кретању, а смер силе зависи од врсте наелектрисања. Сила по јединици наелектрисања у кретању представља **магнетну индукцију**, $\vec{B}$, која је аналогна електричном пољу. Јединица за магнетну индукцију је тесла [T]. Величина магнетног поља у вакууму, $\vec{H}$ и магнетна индукција $\vec{B}$, повезане су релацијом:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \qquad 9.1$$

где је константа, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ N/A^2$, магнетна пермеабилност вакуума. Уколико се посматра било која друга материјаклна средина:

$$\vec{B} = \mu_r \mu_0 \vec{H} \qquad 9.2$$

где је μ_r - релативна пермеабилност средине, бездимензионална величина. За вакуум је $\mu_r = 1$.

Магнетни флулс (Φ) се дефинише као укупан број линија сила магнетног поља које пролазе кроз неку површину *S*, која је нормална на линије силе ($\Phi = BS$). Јединица за магнетни флукс је вебер [Wb].

Електромагнетна индукција је појава добијања електричне струје помоћу променљивог магнетног поља, или кретања затвореног струјног проводника у сталном магнетном пољу. Струја добијена на тај начин се назива индукована електрична струја. Електромоторна сила пропорционална је брзини промене магнетног флукса кроз површину која је њоме ограничена. ***Фарадејев закон електромагнетне индукције*** гласи: Индукована електромоторна сила једнака је негативној брзини промене флукса, односно:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \qquad 9.3$$

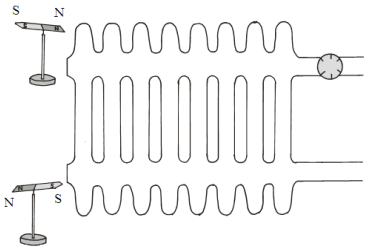
Према ***Ленцовом правилу*** индукована струја има такав смер да својим магнентним пољем спречава кретање које је изазива.

9.2. Једноставни експерименти

9.2.1. МАГНЕТНИ РАДИЈАТОРИ

(*магнетно поље Земље - инклинација - магнетна игла - полови - магнетизација)*

Земљино магнетно поље може проузроковати намагнетисање предмета, који сдарже гвожђе, што се може константовати магнетном иглом.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Магнетна игла или компас

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Магнетну иглу држати уз предмет који се налази у соби, а садржи гвожђе. Да би експеримент успео предмет не треба померати дуже времена (на пример радијатор или цев од грејања). Ако се магнетна игла држи са доње стране предмета, предмет привлачи јужни пол игле, а одбија северни пол. Ако иглу држимо са горње стране предмета, игла ће се окренути, односно северни пол магнетне игле ће бити привучен, а јужни одбијен.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Земља је окружена магнетним пољем, чији се јужни пол налази у близини географског северног пола. На половима јачина магнетног поља износи $\sim 6 \cdot 10^{-5}$ T, а на екватору отприлике половину тог износа. Угао инклинације линија магнетног поља у средњој Европи износи између 63° и 73°. Земљино поље намагнетише феромагнетне предмете. При томе вертикална компонента магнетног поља делује тако, да предмети који дуже време нису померани, на доњој страни имају северни магнетни пол, а на горњој страни јужни. То показује магнетна игла.

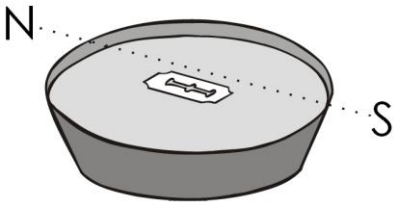
Запажања

Овера:

9.2.2. ЈЕДНОСТАВНИ КОМПАС

(магнетизација – феромагнетизам – компас – Вајсови домени)

Жилет се може намагнетисати и послужити као компас!



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- жилет
- перманентни магнет
- посуда са водом

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Жилет намагнетисати превлачењем више пута у истом правцу и смеру једног пола магнета преко њега. Поставити жилет у посуду напуњену водом тако да плива на површини. Жилет ће се поставити тако да показује правац север – југ.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Превлачењем перманентног магнета преко жилета долази до оријентације феромагнетних (Вајсових) домена који постоје у гвожђу, тако да он сам постаје магнет.

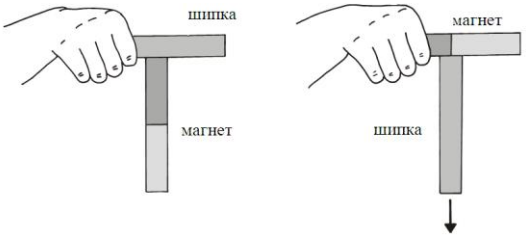
Запажања

Овера:

9.2.3. МАГНЕТ ИЛИ ГВОЖЂЕ?

(феромагнетизам - магнетно поље - магнетна шипка - магнетизација - магнетни полови)

На основу особина магнетног поља, може се утврдити која је шипка, од две шипке истог изгледа, магнет а која не.



а) б)

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- магнет у облику шипке
- гвоздена шипка која изгледа исто као магнет

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Поставити на сто два шипке истог изгледа. Једна од њих је магнет, а друга не. Без помоћних средстава треба утврдити која је шипка магнет.

Једну од две шипке држати хоризонтално. Другу прислонити уз прву, тако да праве слово Т (види слику). Ако је шипкасти магнет преслаб да се оствари ситуацију са слике, односно да шипка виси на гвозденом штапу, могу се Т форме поставити на сто и гледати кад је привлачење јако, а кад слабо.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Магнетно поље на половима магнета је веома јако. Због тога у хоризонтално постављеном гвозденом штапу магнетни диполи се оријентишу у правцу који је паралелан са линијама сила поља (феромагнетне особине гвожђа). Јачина поља се повећава дуж линија сила поља, односно у правцу магнета. Због тога на диполе у гвожђу делује сила, која је усмерена ка магнету. Магнетни диполи гвожђа и магнет се међусобно привлаче, те магнет остаје причвршћен за шипку, односно виси у ваздуху (случај под а).

У другом случају се гвоздени штап држи уз хоризонтално постављен магнет. Дуж линија сила поља које пролазе кроз гвоздени штап, јачина поља скоро да се и не мења, мења се само нормално на линије поља. Због тога на диполе у гвозденом штапу, који су паралелни линијама сила поља, скоро да не делује никаква сила. Ако се магнет налази у хоризонталном положају не привлачи гвоздени штап, те он пада (случај под б).

Запажања

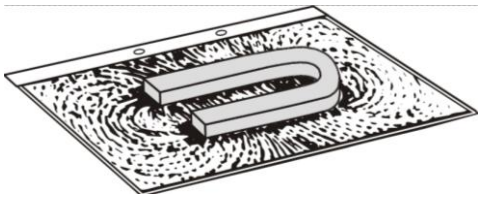
Овера:

9.2.4. ПРИКАЗ ЛИНИЈА СИЛА МАГНЕТНОГ ПОЉА!

(магнетно поље - линије сила магнетног поља - магнетизација - магнетни дипол)

Са мешавином уља и гвоздених опиљака, која се налази у провидној фолији, могуће је у кратком временском периоду приказати магнетно поље.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:



- Провидна фолија (А5)
- Провидна течност средњег вискозитета (јестиво уље, глицерин, ...)
- Гвоздени опиљци
- Магнет

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Провидну фолију напунити јестивим уљем и равномерно га распоредити унутар ње тако да је дебљина слоја око 2 mm. Након додавања опиљака гвожђа затворити отворену страну фолије апаратом за затварање врећица за замрзивач. Пожељно је да што је могуће мање ваздуха остане у фолији. Ако смо садржај у фолији распоредили равномерно, и ако ставимо магнет на фолију, опиљци гвожђа се распоређују у правцу линија магнетног поља (види слику). Ако променимо магнет да би магнетно поље било видљиво, треба претходно прећи руком преко фолије, да би се њен садржај опет распоредио равномерно. Ако магнетно поље треба да види више особа, фолију треба ставити на пројектор.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Опиљци гвожђа се магнетишу усмеравањем Вајсових домена, образујући низове дипола дуж линија сила магнетног поља. Линије сила поља су геометријске линије у чијој свакој тачки тангента представља правац и смер вектора магнетне индукције.

Уобичајено је да се магнетно поље приказује тако што се изнад магнета ставља комад плексигласа и по њему се посипају опиљци гвожђа. Предност овде приказане методе је у томе, што се помоћу ње могу приказати и слаба магнетна поља (опиљци се лако померају у течности). Такође, не долази до расипања опиљака гвожђа, они не долазе у контак са магнетом чије се поље приказује, а експеримент се брзо може поновити. Помоћу овако припремљене фолије могуће је приказати узајамно дејство два магнетна поља, на пример поље између истоимених и разноимених полова.

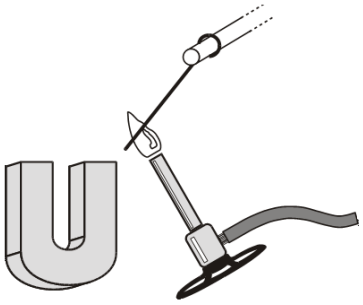
Запажања

Овера:

9.2.5. КИРИЈЕВА ТЕМПЕРАТУРА ГВОЖЂА

(Киријева температура – феромагнетизам – парамагнетизам – магнетизација - Вајсови домени)

Загревањем гвоздене жице може се показати да гвожђе изнад Киријеве температуре губи феромагнетне особине.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Магнет
- Гвоздена жица (r ~ 1 mm, l ~ 20 cm)
- Бунзенов пламеник
- Статив

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Један крај гвоздене жице савити петљу. Петљу навући преко хоризонтално постављеног статива, тако да жица слободно виси у ваздуху нормално на статив (види слику). Постави магнет на ~1 cm од жице тако да је мало избацује из стања мировања, али да је не дотиче. Загреј крај жице ближи магнету Бунзеновим пламеником до усијања. Посматрај шта се догађа. Жица се загреје до температуре која је виша од Киријеве и врати у вертикални положај. Ако се жица више не греје она се хлади и поново је магнет привуче. Пазити да се магнет не загреје да се не би оштетио!

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Перманентни магнети привлаче феромагнетне материјале (гвожђе). Ова појава је последица постојања феромагнетних домена (Вајсових подручја, величине од 10 µm - 1 mm), у којима магнетни моменти (који егзистирају на атомском нивоу) имају исти смер. Ако се феромагнетни материјал доведе у магнетно поље перманентног магнета, долази до оријентације домена у правцу спољашњег поља, односно намагнетисања феромагнетног материјала. На тај начин долази до појаве привлачења перманентног магнета и феромагнета.

Приликом загревања преко Киријеве температуре (код гвожђа 770 °C) услед термичког кретања долази до разарања домена, спонтана магетизација више не постоји и феромагнетик прелази у парамагнетно стање. Сила која делује на жицу више није довољна да је изведе из стања мировања. Ако се жица охлади, она опет поприма феромагнетне особине.

Запажања

Овера:

9.2.6. ЗАУСТАВЉЕНО ПАДАЊЕ

(вртложне струје - равномерно кретање - брзина - Ленцово правило)

Помоћу бакарне цеви и магнета могуће је приказати дејство вртложних струја.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Бакарна цев (~2 - 2,5 m)
- Јак округли магнет који неће запињати приликом падања кроз цев
- Предмет од гвожђа истих димензија као магнет

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Кроз вертикално постављену цев пусти се да пада комад гвожђа и мери се време падања (~1,5s). Ако се кроз исту цев пусти да пада магнет, запажа се његово спорије падање, а мерено време падања је ~ 30 s.
Ако се бакарна цев избуши тако да је растојање између рупа ~ 5 cm, а да оне леже на правој линији, кроз рупе се може посматрати кретање комада гвожђа односно магнета. После бушења рупа унутрашњи део цеви треба обрадити да буде гладак.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Ако се бакарна жица креће кроз магнетно поље, долази до индуковања вртложних струја чије се магнетно поље, по Ленцовом правилу, супротставља спољашњем променљивом пољу којим је изазвано, односно сила којом индуковано магнетно поље делује на жицу супротставља се њеном кретању (кочи је). Исто се догађа када се пусти магнет да пада кроз бакарну цев. Његово кретање кроз цев изазива образовање вртложних струја у бакарној цеви, а магнетно поље индуковане струје делује на магнет силом која се супротставља његовом кретању. При том се кинетичка енергија претвара у топлотну („Омска топлота“). Гвоздени предмет у експерименту кочи само сила отпора ваздуха, док на магнет поред ове силе делује и сила индукованог магнетног поља. Између силе Земљине теже и укупне силе која кочи тело (сила отпора ваздуха и индукциона сила) успоставља се равнотежа, те је резултујућа сила једнака нули. То значи да ће се магнет приликом падања кроз бакарну цев кретати константном брзином!

Експеримент је збуњујући особито ако су предмет и магнет истог облика и запремине па посматрач не уочи разлику! Неопходно је да магнет буде нешто мањег пречника од цеви да би слободно клизио и уколико је јачи утолико је ефекат боље видљив.

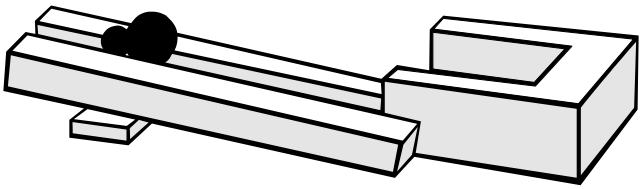
Запажања

Овера:

9.2.7. МАГНЕТНИ ТОП

(*брзина феромагнетног „еластичног судара“)*

Уз помоћ перманентног магнета може се приказати, како се у случају еластичног судара може неочекивано појавити велика брзина тела.



ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ:

- Перманентни магнет
- 2 челичне кугле различитог пречника (~ 2 cm и 1 cm)
- 2 танке дрвене лајсне (површина пресека ~ 1cm × 1 cm)

ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА:

Помоћу две дрвене лајсне направи се жљеб, који се усмери на један пол перманентног потковичастог магнета (види слику). На почетак жљеба ставе се две челичне кугле, које се котрљају према полу магнета. Ивице употребљених лајсни морају бити глатке а величина жљеба толика да кугле могу да клизе низ жљеб, али да мања не може да испадне.

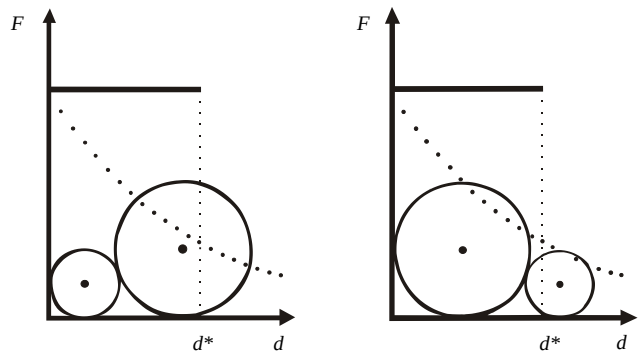
(а) Ако се кугле, које се додирују, истовремено пусте низ жљеб, тако да мања кугла прва удари о магнет, онда ће обе кугле остати залепљене уз магнет.

(б) Ако се велика кугла стави испред мале, онда ће након ударца само велика кугла остати уз магнет, а мала кугла ће се одбити од велике и неочекивано великом брзином откртљати уз жљеб.

ОБЈАШЊЕЊЕ:

Између челичних кугли (феромагнетни материјал) и перманентног магнета делује привлачна сила, $\vec{F}$, која се смањује са растојањем, d, између кугле и магнетног пола. Функционална зависност силе од растојања, у нултој апроксимацији, приказана је на сици 9.2. Сила, $\vec{F}$, којом магет делује на куглу је до неког растојања d^* константна, а на растојањима већим од d^* сила више не делује на куглу. Стварни ток криве која приказује зависност интензитрета силе $\vec{F}$ у функцији од d^* приказан је на графику тачкастом кривом. Овако упрошћеним моделом може се објаснити посматрано понашање кугли:

У случају под (а) тежиште како мале тако и велике кугле се налази унутар правоугаоника, тако да на обе кугле делује привлачна сила магнета. Сила која настаје на основу промене импулса при удару кугли о пол магнета, није довољна, да савлада привлачну силу магнета. То значи да између кугли и магнета долази до нееластичног судара.



а) б)

Слика 9.2. Функционална зависност магнетне силе од растојања:
а) мала кугла постављена испред велике кугле,
б) мала кугла се постави иза велике кугле

У случају под (б) ако постоји одређен однос пречника велике и мале кугле, тежиште мале кугле се налази изван домета магнетне силе, те она на њу и не делује. Велика кугла претрпи нееластичан судар са полом магнета и остаје „залепљена“ уз њега, а мала кугла се еластично одбија од велике, односно претрпи централни еластични судар. При том се, у идеалним случају, укупна кинетичка енергија преноси на малу куглу. На основу закона о одржању енергије може се написати:

$$\frac{1}{2}m_1v_1^{\,2}+\frac{1}{2}m_2v_2^{\,2}=0+\frac{1}{2}m_2v_2'^{\,2} \qquad 9.4$$

где су m_1, m_2 - масе велике односно мале кугле; v_1, v_2 - брзина велике односно мале кугле пре судара; v_2' - брзина мале кугле после судара.

Пошто су брзине обе кугле приликом котрљања низ жљеб исте, могу се v_1 и v_2 заменити брзином *v*, а брзина мале кугле после судара $v_2' \rightarrow v'$. На тај начин се добија:

$$v'=\sqrt{1+\frac{m_1}{m_2}}\cdot v=\sqrt{1+\frac{r_1^{\,3}}{r_2^{\,3}}}\cdot v \qquad 9.5$$

где су r_1, r_2 - радијуси велике односно мале кугле.

На пример са вредностима полупречника $r_1=1\,\mathrm{cm}$ и $r_2=0{,}6\,\mathrm{cm}$ добија се:

$$v'=2{,}37\cdot v \qquad 9.6$$

Због трења и деловања магнетне силе (које овде нису узете у обзир), мала кугла не добија брзину *v*‘ преко два пута већу од почетне брзине, *v*, али је ипак вредност брзине након судара знатно већа од *v*.

Код овог експеримента веома су битне димензије употребљених кугли. Догађање еластичног судара умногоме зависи од јачине употребљног магнета и може и да се не догоди, особито ако је пречник велике кугле превише мали, или је нагиб дрвеног жљеба сувише велик. Као добрим се показало основно правило, да ако се користи потковичасти магнет из школске опреме, толико јак, да је немогуће само једном руком истовремено одстранити полугу прислоњену на оба пола, треба употребити две челичне кугле горе описаних димензија и пустити их да се котрљају низ веома плитак жљеб. При томе би ове две кугле требало да буду пуштене са удаљености од пола магнета, која одговара највише ширини једне шаке. За друге магнете, наравно, потребно је кроз екперимент одредити друге параметре, при чему треба пробати комбинације различитих кугли.

Овај експеримент представља варијанту експеримента „Лоптице скочице“ („Која ће лопта одскочити више“).

Запажања

Овера:

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.Л. Сикорук, “Физика за малишане*”*, Москва, Педагогика (1979).
2. Ф. Константини, “Учим на огледима *2 i 3”*, Техничка књига, Загреб (1972).
3. B. Taylor*:* Mit Wasser spielen: spielend lernen, (Б. Тејлор: Играти се са водом: учити кроз игру) Südwest Verlag GmbH & Co.KG, München (1991).
4. B. Walpole: Experimente, Tricks und Tips zum Verständnis der Natur, Lernen und Wissen im Spiel und mit Spaß, (Б. Валпол: Огледи, трикови и савети за разумевање природе, Учље и знње кроз игру са радошћу), Südwest Verlag GmbH & Co.KG, München (1990).
5. E. Zeier: Physikalische Schulversuche, Freihandversuche, kleine Experimente, (Е. Цајер: Школски огледи из физике, једноставни огледи, мали експерименти) Aulis Verlag Deubner & Co.KG, Köln (1986).
6. The Big Book of Experiments, An Encyclopedia of Science, (Велика књига експеримената, Енциклопедија науке)Brown Watson, English edition (1999).
7. J. Wittmann: Trickkiste 1, Experimente, wie sie nicht im Physikbuch stehen, (Ц. Витман: Трикови 1, Оледи какви не постоје у уџбенику физике), Bayerischer Schulbuch Verlag, München (1986).
8. J. Walker: Der fliegende Zirkus der Physik, (J. Волкер: Летећи циркус физике), R. Oldenbourg Verlag GmbH, München Wien 1994
9. M. *Gardner*, The Physics Teacher, 33/4 (1995) 220.
10. Möller, H., Praxis der Naturwissenschaften: Physik 45/2 (1996) 42-46
11. N. K. Lowe: UNESCO: Low cost equipment for science and technology education, Division of 13,*(Н. К. Лав:* УНЕСКО: Јефтина опрема у научном и технолошком образовању, Одељак 13), Science, Technical and environmental education, UNESCO, Paris 1991
12. N. Treitz: Spiele mit Physik, (Н. Трајц: Играј се с физиком), Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt/Main (1991).
13. N. Ardley: 101 spannende Experimente aus Wissenschaft und Technik,(Н. Ардли: 101 занимљив експеримент из науке и технике), Loewe Verlag, Bindlach (1995).
14. H. Raaf, H. Sowada: Physik macht Spaß, Überraschende Einsichten durch über 100 Modelle und Experimente, (Х. Раф, Х. Совада: Физика је разонода, Изненађујуће сазнање кроз 100 модела и огледа), Herder Verlag, Freiburg im Breisgau (1990).
15. H. Melenk, U.Runge: Verblüffende physikalische Experimente, (Х. Маленк, У. Рунге: Изненађујући огледи из физике), Aulis Verlag Deubner & Co.KG, Köln (1991).
16. Zeier, E.: Physikalische Schulversuche, Freihandversuche, kleine Experimente, Aulis Verlag Deubner & Co.KG, Köln 1986.
17. Physikalische freihandexperimente, Multimedia Physic Verlag, (1999)

Линкови:

18. http://www.chias.org/www/edu/activities/activity1/activity1.html
19. http://eskola.hfd.hr/inter_fizika/a-02.htm
20. http://www.weatherwizkids.com/WxExperiments.htm
21. www.multimedia-physik.com