



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО – МАТЕМАТИЧКИ
ФАКУЛТЕТ
ДЕПАРТМАН ЗА ФИЗИКУ



Формирање и развој појмова у обради Архимедовог закона у основном образовању

- завршни рад -

Ментор:
проф. др Душанка Обадовић

Кандидат:
Ивана Ранчић

Нови Сад, 2009.

*Захваљујем се ментору, проф. др Душанки Обадовић, на указаном поверењу,
на стрпљењу и помоћи током израде овог рада.*

Садржај:

1. Увод	2
1.1. Методичке напомене	2
1.1.1. Настава физике	2
1.1.2. Једноставни експерименти у настави	4
1.1.3. Формирање и развој појмова у настави физике.....	5
1.2. Преглед литературе о Архимедовом закону с освртом на преглед радова доступних у електронској форми.....	6
2. Из историјског развоја физике	9
2.1. О Архимеду	9
2.2. Легенде и занимљивости	9
2.2.1. Да ли би Архимед успео да помери Земљу?	9
2.2.2. „Еурека“	10
2.2.3. „Noli turbare circulos meos!“ – „Немој кварити моје кругове!“	11
2.2.4. Архимедов палимпсест	11
2.3. О пливању тела	13
3. Теоријски део	14
3.1. Сила потиска у течностима и гасовима.....	14
3.2. Архимедов закон	14
4. Примери, задаци и питања.....	17
4.1. Тона дрвета и тона гвожђа.....	17
4.2. Плива, тоне, лебди.....	18
4.3. Ареометар.....	18
4.4. Летелице лакше од ваздуха	19
4.5. Санта леда	19
4.6. Питања	20
4.7. Експериментални задатак на 3. Српској физичкој олимпијади за основну школу.....	21
4.8. Паја Патак – геније	24
5. Демонстрациони огледи.....	25
5.1. Да ли лимун плута или тоне?	25
5.2. Пинг-понг лоптица у левку.....	25
5.3. Измери прст.....	26
5.4. Нарушена равнотежа.....	27
5.5. Како се лед топи, да ли подиже ниво мора?	28
5.6. Балони падају – лебде	31
5.7. Зашто се тежина ваздуха не може измерити помоћу ваге?	32
5.8. Одређивање густине тела без мерења његове масе и запремине.....	33
5.9. Картезијански гњурац	34
5.10. Куда иде плутани чеп?	36
6. Закључак	41
7. Литература	42
Кратка биографија кандидата.....	43
Кључна документацијска информација	44

1. Увод

Природне појаве су одувек привлачиле пажњу и будиле човекову радозналост, не само да их открије, опише и објасни него да их и практично примени.

Научно знање о природи непрестано се богати. Али, пут до научног сазнања није једноставан. Многа научна открића су резултат дугог и упорног рада многих научника из разних крајева света и различитих епоха. У учионици се не може поновити пут који су научници пратили до научног сазнања, међутим, могуће је ученицима указати на дуг и тежак историјски развој појмова (пут до сазнања) и приближити исте демонстрацијама које се врло једноставно могу извести на часу, и које би повезале искуства које су ученици стекли у свакодневици и појмове које им научно објашњава физика.

Пошто је физика наука о природи, физика као школски предмет би требало да омогући ученицима стицање основних знања о природним појавама и законитостима. Постоји много лепих примера који се могу навести и тако могу учинити наставу физике лепом и занимљивом. Ученици морају бити активни учесници на часу. Потребно је наводити их да сами долазе до закључака, па и до дефиниција, колико год је то могуће. Једино тако се могу формирати појмови. Проблемска ситуација по правилу успева да заинтересује ученике, уколико се добро постави проблем сви ће тражити његово решење. На тај начин ученици ће научити да критички размишљају о ставовима које им неко износи. Њихово знање неће бити последица ауторитативног излагања наставника. Знање стечено на тај начин је трајније и много лакше се примењује у пракси. Ученици тако заиста схвате појаву и формирају своје мишљење. Тако се код ученика развија научни поглед на свет. Такође, врло занимљиве приче које су везане за историјски развој појмова учиниће час још занимљивијим.

Циљ овог рада је да се прикаже како се на занимљив начин могу формирати и развијати појмови у вези са Архимедовим законом. Да се изложи теорија у вези са овом темом, уз историјске податке и примере, задатке и једноставне демонстрације које се могу применити у настави – избор зависи од узраста, знања и способности ученика, њихове спремности на сарадњу и њихових интересовања. Овај рад представља покушај да се покаже лепота физике и наставног процеса, и да се укаже на могућност вођења успешне, динамичне наставе. Посебно је указано на значај доброг извођења наставе са циљем формирања и развоја појмова. Такође, приликом израде овог рада коришћени су радови из области методике наставе, у вези са Архимедовим законом, доступни у електронској форми и тиме је учињен покушај да се укаже на могућности приступа оваквим радовима на интернету и указано је на форму коју ови радови задовољавају.

1.1. Методичке напомене

1.1.1. Настава физике

Успешна организација и реализација наставе физике захтева познавање одговарајуће методике. Познавање методике наставе омогућава да се превазиђу традиционални, праволинијски и једносмерни приступи и да се развију и афирмишу нови начини и путеви стицања знања.

Настава је организовани облик поучавања (делатност наставника) и учења (делатност ученика).

Циљеви наставе физике су дефинисани Службеним просветним гласником Републике Србије.

Општи циљ наставе физике јесте да ученици упознају природне појаве и основне природне законе, да стекну основну научну писменост, да се оспособе за уочавање и распознавање

физичких појава у свакодневном животу и за активно стицање знања о физичким појавама, да кроз истраживање оforme основу научног метода и да се усмере према примени физичких закона у свакодневном животу и раду.

Остали циљеви и задаци наставе физике су:

- развијање функционалне писмености,
- упознавање основних начина мишљења и расуђивања у физици,
- разумевање појава, процеса и односа у природи на основу физичких закона,
- развијање способности за активно стицање знања о физичким појавама кроз истраживање,
- развијање радозналости, способности рационалног расуђивања, самосталности у мишљењу и вештине јасног и прецизног изражавања,
- развијање логичког и апстрактног мишљења,
- схватање смисла и метода остваривања експеримента и значаја мерења,
- решавање једноставних проблема и задатака у оквиру наставних садржаја,
- развијање способности за примену знања из физике,
- схватање повезаности физичких појава и екологије и развијање свести о потреби заштите, обнове и унапређивања животне средине,
- развијање радних навика и склоности ка изучавању наука о природи,
- развијање свести о сопственим знањима, способностима и даљој професионалној оријентацији.

Од више савремених дидактичких система настави физике највише одговарају хеуристичка и проблемско-развојна настава. Облици рада у складу с тим системима највише одговарају физици као науци и физици као школском предмету. Такође, прихваћено је мишљење да је проблемска настава најприроднији начин учења. То је добар избор да се превазиђе предавачка настава која је праћена је с већом дозом догматизма.

Хеуристика је вештина откривања новог. У хеуристичкој настави ученици се низом питања доводе до открића и „еурека“ момента – момента када после упорног рада, размишљања и бављења одређеним проблемом у човеку настаје „плодоносни тренутак“ – када се долази до сазнања и до разумевања. У том моменту је неразумљиво постало разумљиво и човека обузима задовољство јер је велики уложени труд уродио плодом. Дете тако после извесног времена изненада и спонтано схвати проблем што је праћено са „Аха, разумем!“. Назив хеуристичке наставе је у вези са легендом о Архимедовом открићу, односно Архимедовим ускликом „Еурека“.

Проблемско-развојна настава заснована је на законитостима логики научног истраживања и психологије интеракције наставника и ученика у условима постојања проблемске ситуације и мисаоног процеса решавања проблема.

Наставник у учионици мора бити предавач, организатор и мотиватор. Квалитет знања ученика зависи од тога колико је наставник успешан у свом послу. Због тога наставник мора извршити адекватну припрему за сваки час. На часу мора подсетити ученике на одговарајуће садржаје које су раније прешли и мора на конкретним примерима демонстрирати теоријске ставове и закључке.

Наставне методе могу бити вербалне, демонстрационо–илустрационе и лабораторијско–експерименталне. Приликом извођења наставних часова где се усвајају појмови у вези са Архимедовим законом могу се комбиновати: дијалог са ученицима (вербална метода) и демонстрациони огледи (демонстрационо–илустрациона метода), где ученици сами активно изводе једноставне огледи. На тај начин стечено знање је трајније и примењивије, лакше се повезује са искуством и новим знањима.

Приликом извођења демонстрационих огледа или решавања задатих проблема (у облику задатака или питања) може се организовати рад у паровима (или рад у групама). Ученици радије обављају задатке у паровима, а на тај начин се подстиче социјализација и јача се

колектив који ученици граде. Ученици су друштвенији, стичу навику да сарађују, помажу другима или затраже помоћ када им је потребна, постају толерантнији и тако „уче“ да са више разумевања и аргументовано воде расправе.

Наставни час чине уводни, главни и завршни део часа. Уводни део часа је уобичајено дијалог који наставник води са ученицима, са циљем да се понови градиво које је претходило оном које је предвиђено за тај час и служи за лакше праћење и боље разумевање новог градива. Затим се, после кратког теоријског увода, могу задати примери – проблемске ситуације (огледи, задаци и питања) које ће ученици решавати у паровима. Када ученици реше задате примере, различити резултати до којих су дошли могу се, опет вођењем дијалога, изложити пред целим разредом. У завршном делу часа се може поновити градиво и проверити да ли су га ученици разумели и савладали.

У зависности од узраста и предзнања ученика, као и њиховог интересовања, потребно је изабрати одговарајуће примере и демонстрације. Ниво на ком ће се дати одговарајуће објашњење одабраних огледа мора, такође, бити у складу са узрастом и раније стеченим знањем ученика.

Архимедов закон се обрађује у седмом разреду основне школе, у оквиру теме „Равнотежа тела“. За извођење наставних јединица: „Сила потиска у течности и гасу. Архимедов закон“ и „Пливање и тоњење тела“ предвиђена су два наставна часа. У другом разреду гимназије Архимедов закон није издвојен као засебна наставна јединица, већ се професори позивају на знање стечено у основној школи и често га понове на часовима обраде наставне јединице „Бернулијева једначина“, која се обрађује у оквиру теме „Основи динамике флуида“. За извођење наставне теме „Основи динамике флуида“ је наставним програмом предвиђено пет часова у одељењима природно-математичког смера и три часа у одељењима друштвено-језичког и општег смера.

1.1.2. Једноставни експерименти у настави

Физичке појаве се могу приближити ученицима демонстрационим огледима. Они ће бити активни учесници и у сарадњи са наставником ће и сами моћи да уоче неке односе. Ученици ће схватити да процесе и појаве које виде свакога дана на задовољавајући начин описују и објашњавају физички закони. Све у природи се дешава у складу са законима физике.

Увођење једноставних експеримената за демонстрирање физичких појава има за циљ „враћање“ огледа у наставу физике, развијање радозналости и интереса за физику и истраживачки приступ природним наукама.

Једноставне експерименте могу да изводе и сами ученици на часу или да их понове код куће, користећи многе предмете и материјале из свакодневног живота.

Показивање физичких појава (процеса), законитости и одговарајућих објеката као и начина њиховог рада назива се демонстрационим експериментом. Демонстрациони експерименти погодни за обраду наставне теме уводе се тако што се полази од најједноставнијих, погодних и за ученике нижих разреда основне школе. На тај начин се уводи принцип научности и у раду са најмлађим ученицима.

Дидактички циљ извођења експеримента је да ученици од тога имају одређене користи, а она се састоји у стицању искуства и приближавању изучаваних појмова ученицима. Сврха експеримента може бити и повећање интересовања и мотивације кроз демонстрацију појаве, илустрацију принципа и закона, очигледност у изучавању градива, конкретизацију примене теоријских знања, стицање умења и вештина, а такође, и развијање критичног мишљења ученика и оцењивање ученика.

Захтеви при извођењу експеримента у настави су:

- сврсисходност – правилан избор експеримента,
- поузданост – припремање наставника уз обавезно испробавање,
- видљивост – обезбеђивање средстава и поступака који омогућавају да се експеримент лако прати и да се уоче сви његови битни елементи,
- приступачност и очигледност – апаратуре и средства којима се експеримент изводи би требало да су што једноставнији,
- научна заснованост – поступци и интерпретација резултата морају бити у складу са достигнућима дидактике и физике као науке,
- безбедност и заштита – при извођењу експеримента морају се предузети потребне мере заштите ученика од повреда и заштите средстава рада од оштећења.

1.1.3. Формирање и развој појмова у настави физике

Наука је систематизован скуп, односно систем знања у одређеном историјском периоду о објективној стварности, до њега се долази истраживањем. У основне елементе научног знања спадају: научне чињенице, појмови, величине, категорије, закони, принципи, хипотезе и теорије.

Научни појам је једна од основних јединица мисаоне делатности и служи за образовање других, сложенијих облика мишљења (то би били на пример судови и закључци). Појам се може дефинисати као основни синтетизовани производ одраза у нашем мозгу, свести општих и суштинских својстава објеката и појава, које се дешавају у објективном свету. Једноставније, појам је мисао која се образује на основу заједничких особина појединачних објеката (предмета) или појава сличних особина. Појам је средство и производ мишљења, а карактеришу га садржај, обим и домен – подручје примене. Скуп заједничких особина великог броја свесно одабраних објеката одређује садржај појма о скупу тих објеката, односно о објекту уопште. Значи, садржај појма чине битне карактеристике тог појма, односно, оно што нешто чини оним што јесте. Обим појма чине сви потпојмови (у граничном случају сви појединачни објекти), који по свом садржају потпадају под тај појам. Обим и садржај појма су обрнуто пропорционални: што појам има богатији садржај, обим му је мањи и обрнуто. Садржај појма имплицитно укључује и садржаје свих нижих појмова који се везују за дати појам. Обим појма се одређује скупом свих нижих појмова које обухвата, а подручје његове примене сумом свих појединачних предмета (објеката), појава на које се односи.

Научни појам је резултат мисаоног процеса и до њега се може доћи само мишљењем јер је мисао резултат мисаоне активности. Да би се формирао научни појам потребно је обавити одређене мисаоне поступке.

Како у настави физике тако и у настави сваког другог школског предмета, научни (физички) појам се не може „дати“ – „предати“ већ само формирати мисаоним радом.

До дефиниције појма може се доћи индукцијом (методски поступак закључивања од појединачног ка општем), дедукцијом (поступак којим се полазећи од извесних општих ставова изводе посебни, конкретни случајеви) и аналогичном (закључак из појединачног или посебног о појединачном или посебном као сличном), а његов садржај, обим и домен примене утврђују се апстракцијом (грађење мисаоних представа, издвајање битних особина, веза и односа од небитних), генерализацијом (уопштавањем, преношењем идентификације и изван посматраних објеката) и детерминацијом (детерминација је сужавање обима појма проширивањем његовог садржаја, од општијих појмова долази се до мање општих).

Подразумева се јединство предмета као објективне основе и појма као субјективне замисли тог предмета. Тако је и најсубјективнији појам замисао предмета (који може бити и производ апстрактног мишљења).

У основи дефиниције појма је мисаоно схватање предметног сазнања. Дефиниција је логички поступак којим се утврђује садржај једног појма, она изражава основна обележја одређеног појма и даје суд о предмету, требало би да одрази предмет кроз значење термина.

Помоћу појмова се стварност сазнаје на једном вишем нивоу него што је то могуће чулним опажањем јер појам излази из оквира чулне датости појаве и води ка суштини. Мисао се креће од мање апстрактних (једноставнијих) ка сложенијим појмовима.

Формирани појмови не остају непромењени. Мењају се по обиму и садржају проширујући наше сазнање о стварности. Тако сваки појам има своју еволуцију – развојну линију, у физици као науци али и у физици као школском предмету. Уколико се дубље продире у суштину стварности, појмови којима се та стварност одражава постају богатији и садржајнији.

У свакој грани науке постоји систем узајамно повезаних појмова, а најопштији, кључни, појмови представљају категорије. Један исти појам може да се односи на више наука и да се развија кроз различите школске предмете.

Број појмова се стално повећава. Сваки нови појам се формира тако да буде компатибилан са осталим појмовима датог система, односно одговарајуће научне области.

1.2. Преглед литературе о Архимедовом закону с освртом на преглед радова доступних у електронској форми

Приликом израде овог рада коришћена је литература из методике наставе физике:

- М. Распоповић, Методика наставе физике, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1992
- Т. Петровић, Дидактика физике – теорија наставе физике, Београд, 1993

Постоји потреба учења о томе како треба поучавати ученике. Наведена литература олакшава упознавање теорије и праксе вођења наставног процеса и она је коришћена највећим делом у уводу рада.

Део рада који се односи на историјски развој физике се ослања на литературу из те области:

- М. Млађеновић, М. Јакшић, Историја класичне физике за ученике средњих школа, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1993
- С. Марић, На изворима физике, Матица српска
- Ј. Томић, Д. Илић, Физика свуда око нас, 3 И 3, Београд

Теоријски део рада и део рада где су изложени примери, задаци и питања су написани помоћу одговарајућих уџбеника и стручне литературе:

- М. Распоповић, Д. Ивановић, Ј. Томић, Д. Крпић, Б. Никић, Физика за VI разред основне школе, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1997
- Ј. Шетрајчић, Д. Капор, Физика за VII разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2008
- Б. Жижић, Курс опште физике – физичка механика, Београд, 1975
- Ф. В. Сирс, Механика, таласно кретање и топлота, Научна књига, Београд, 1962

Литература коришћена за део у којем су наведени демонстрациони огледи је:

- Д. Обадовић, Једноставни експерименти у настави физике, скрипта, Природно-математички факултет, Нови Сад, 2007
- Д. Обадовић, М. Стојановић, М. Павков-Хрвојевић: Једноставни огледи у физици за VI разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2007
- Д. Обадовић, М. Стојановић, М. Павков-Хрвојевић: Једноставни огледи у физици за VII разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2007

Домаћи часописи и одговарајући текстови коришћени у раду су:

- Љ. Ристовски, Да ли би Архимед успео да помери Земљу?, Млади физичар 01/02-84 “С”, Друштво физичара Србије
- Стрипски јунаци спасавају свет, Политикин Забавник, број 2972, 23.1.2009., Политика, Београд
- С. Божин, Тона дрвета и тона гвожђа, Млади физичар 02/03-88 “С”, Друштво физичара Србије

Коришћени страни часописи и одговарајући текстови су доступни у електронској форми и могу се пронаћи помоћу интернет сајта КоБСОН-а (линк: <http://kobson.nb.rs/Kobson/page/>).

Конзорцијум библиотека Србије за обједињену набавку – КоБСОН је сервис који пружа могућност једноставног приступа научним часописима и радовима и њиховом претраживању.

Сваки часопис има сопствене захтеве када је у питању форма чланка, односно рада који ће у том часопису бити објављен. Међутим, може се уочити да постоји општа форма рада која је уобичајено испоштована и читаоцима чини сналажење једноставнијим. После наслова рада и имена аутора са контакт електронском адресом налази се кратак опис рада, апстракт, који даје увид у то шта је обухваћено радом. Кључне речи, такође, много олакшавају преглед и претрагу часописа у циљу проналажења одређене теме. После увода следи теоријска или експериментална обрада одабраног проблема чији резултати су сумирани у закључку. Рад се завршава захвалницом, навођењем коришћене литературе и биографијом аутора.

Приликом израде овог рада коришћени су радови из области методике наставе, у вези са Архимедовим законом, доступни у електронској форми у часописима Physics Education и Teaching Physics. Ови радови су највећим делом коришћени у делу рада са демонстрационим огледима. Кратак преглед тих радова са наведеним основним идејама које су у њима изложене и преузете је следећи:

1. Frank Thompson, Archimedes and the golden crown,
Physics Education, July 2008

-Испричана је легенда о Архимедовом открићу силе потиска и његовом „еурека“ моменту када је осмислио начин како да провери да ли је краљева круна златна. Такође, дат је предлог експеримента да се одреди густина материјала на исти начин како је према легенди Архимед то учинио да би испитао круну.

2. Ayse Oguz, Kemal Yurumezoglu, Experiment clarifies buoyancy,
Physics Education, May 2008

-Говори о могућим заблудама у вези са силом потиска и Архимедовим законом и начинима који могу показати нетачност тих заблуда. Указано је, такође, на врло једноставне експерименте који могу утицати на формирање исправног начина размишљања, као што је експеримент 5.1.

3. Boris M. Valiyov, Vladimir D. Yegorenkov, Do fluids always push up objects immersed in them?,
TEACHING PHYSICS, Phys. Educ. 35(4) July 2000

-Указано је на проблем приликом увођења појма силе потиска који се односи на случај када тело потпуно належе на дно па иако је потопљено у флуид на то тело се не може применити Архимедов закон.

4. S. Ganci, A multipurpose experiment with an electronic balance,
Physics Education, May 2008

-Приказана је идеја како се врло једноставно може демонстрирати дејство силе потиска и истовремено показати важење III Њутновог закона (закона акције и реакције). Принцип описаног експеримента је исти као код експеримента 5.4.

5. G. Calzà, L. M. Gratton, T. Lòpez-Arias, S. Oss, Easy test calculates air's weight,
Physics Education, January 2009

-Осмишљен је врло једноставан и уверљив начин да се покаже због чега се иако ваздух има тежину она не може измерити једноставним стављањем надуваног балона на вагу (експеримент 5.6.).

6. Frackson Mumba, Mesfin Tsige, Finding the density of objects without measuring mass and volume,
Physics Education, May 2007

-Приказана је идеја како се може одредити густина тела без мерења његове масе и запремине постављањем у равнотежни положај полуге на чијем је једном краку дато тело, једном у ваздуху и други пут у води. Користи се услов равнотеже и Архимедов закон (експеримент 5.7.).

7. Nazir Amir, R. Subramaniam, Making a fun Cartesian diver: a simple project to engage kinaesthetic learners,
Physics Education, September 2007

-Описано је како се може направити врло занимљив Картезијански гњурац – играчка (експеримент 5.8.).

8. Concetto Gianino, A bizarre application of Archimedes' law,
Physics Education, March 2007

-Дата је идеја како може да се изведе једна ефектна демонстрација силе потиска постављањем балона испуњених различитом количином ваздуха (различите запремине) у кутију испуњену угљен-диоксидом. У зависности од величине балона неки ће лебдети а неки пасти на дно (експеримент 5.10.).

2. Из историјског развоја физике

2.1. О Архимеду



Слика 2.1. Архимед

Архимед (Ἀρχιμήδης, 287 – 212 пре нове ере) из Сиракузе био је грчки математичар, физичар, проналазач и астроном. Рођен је око 287. године пре нове ере у Сиракузи која се налази на обали Сицилије, где је и погинуо за време пљачкања Сиракузе када су је заузели Римљани. Био је син астронома и математичара Фидије (Φειδίας) и рођак (или само пријатељ) тамошњег краља Хијерона. Његов отац вероватно је допринео Архимедовом интересовању за науку. Као дете одушевљавали су га Сунце, Месец и Земља. Учио је у Александрији у Египту. Оснивач је статике (*механика* је његов термин) и хидростатике, а бавио се и оптиком. Први је одредио приближну вредност броја π (3,14), поставио је закон о пливању тела, закон полуге, пронашао је котураче, зупчасти точак и друго. Његова дела су: О лопти и ваљку, Мерење круга, О спиралама, Квадратура параболе, О пливању тела, О равнотежи равних слика или о тежиштима равних слика и друга. Архимедове инжењерске реализације се могу поделити у три врсте. Прва доприноси техници наводњавања – *Архимедов вијак*, други значај његових проналазака био је у одбрани Сиракузе од непријатеља (Римљана) – *ратне машине* као што су катапулти и системи полуга, трећа врста Архимедових инжењерских реализација јесу *небеске сфере*, које представљају систем сфера које описују кретање небеских тела.

Архимед је највећи научник старог и средњег века. Ако се узме у обзир да није настављао ничију школу, већ сам почињао, он је један од највећих научника у целој историји човечанства.

2.2. Легенде и занимљивости

2.2.1. Да ли би Архимед успео да помери Земљу?

„Дајте ми тачку ослона и одговарајућу полугу и ја ћу подићи Земљу“, рекао је, према легенди, Архимед, имајући на уму да се неравнокраком полугом може подићи и произвољно велики терет снагом људских руку.

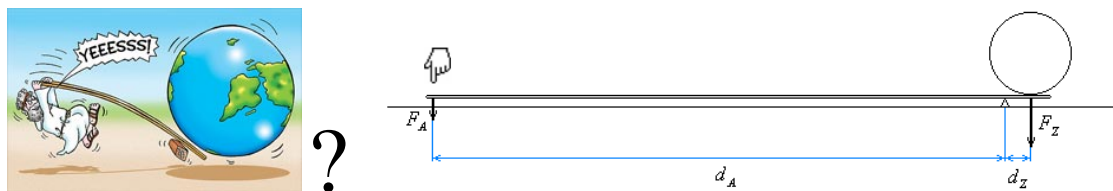
Под претпоставком да одговарајући ослонац и полуга постоје, ако је сила којом он делује на један крај опруге F_A , а сила којом Земља, својом „тежином“, делује на други крај полуге F_Z , онда између тих сила постоји следећа веза

$$F_A d_A = F_Z d_Z \quad (2.1)$$

$$\frac{F_A}{F_Z} = \frac{d_Z}{d_A}$$

где је d_A растојање од тачке ослонца до краја полуге на који делује Архимед, а d_Z растојање од тачке ослонца до оне тачке на полути где је „окачена“ Земља. Нека Архимед може да делује силом $F_A = 600\text{N}$. Пошто је маса Земље приближно једнака $6 \times 10^{24}\text{kg}$ може лако да се израчуна да (уколико се узме тежина Земље која би одговарала тој маси услед дејства Земљиног гравитационог убрзања $F_Z = M_Z g$, где је $g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$) би крак d_A требало да је 10^{23} пута дужи од крака d_Z .

Да би се Земља померила (подигла) за само 1 cm крај дужег крака полуге требало би да опише лук дужине од 10^{21}m . Значи, толики пут треба да пређе Архимедова рука у свемиру да би се Земља померила за 1 cm. Ако је Архимед у стању да терет од 600N подигне на висину од једног метра за једну секунду, онда би морао да без одмора ради 10^{21} година. Ако би покушао да се и више потруди не би му много помогло, јер када би свој крај полуге померао брзином светлости ($3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$), уз занемаривање релативистичких ефеката, морао би да ради без одмора десет милиона година.



Слика 2.2. Да ли би Архимед успео да помери Земљу?

Краљ Хиерон је Архимеда изазвао да докаже нешто слично свом исказу да би могао померити цео свет, и Архимед је у ту сврху направио такав систем полуга и котура, да је седећи дигао једном руком натоварени брод из мора и пренео га на копно.

2.2.2. „Еурека“

Хиерон, владар Сиракузе дао је одређену количину злата да му златар Диокле направи круну. Златар је у договореном року направио круну и она је била исте тежине као и злато за њену изразу. Међутим, Хиерона су обавестили да је Диокле део злата заменио сребром, што га је разљутило. Да би се уверио у тачност те вести Хиерон је затражио помоћ од Архимеда.

Архимед је прихватио задатак да одгонетне да ли је круна од чистог злата. Он је из Хиеронове ризнице узео две полуге, једну од злата, а другу од сребра. Измерио је њихове масе и запремине и дељењем те две величине одредио је њихово до тада непознато својство, за сваку супстанцију карактеристичну величину – густину. Архимед је хтео да одреди то исто својство круне и да упореди ту добијену величину са раније одређеним величинама за сребро и злато.

Међутим, ту се јавио један озбиљан проблем. Круна није имала правилан геометријски облик па Архимед није могао математичким путем да одреди њену запремину. Морао је да смисли начин како да одреди њену запремину а да је не оштети, да не промени њен облик, односно да је не претопи у полуку. Легенда каже да је Архимед заокупљен овим проблемом, који му се чинио нерешивим, отишао до градског купатила. Улазећи у каду посматрао је како се вода у њој све више издизала. На основу тога закључио је да запремина истиснуте воде мора бити

једнака запремини уроњеног тела. Када је то схватио био је свестан да ће решити започети задатак. Усхићен открићем, изашао је из каде и непотпуно обучен журећи кући гласно је узвикнуо: „Еурека!“ („Пронашао сам!“)



Слика 2.3. „Еурека“

Напунио је до врха суд са водом и у њега потопио круну. Пошто је запремина истиснуте воде била једнака запремини круне чију масу је претходно измерио, израчунао је њену густину. Добијена вредност за густину круне била је мања од густине злата. На основу тога Архимед је закључио да је Диокле при изради круне мешао злато и сребро. Израчунао је да је у круни једна четрдесетина сребра и о томе је известио Хиерона. Према једним подацима Хиерон је наредио да се Диокле погуби, а према другима је позван на одговорност и признао је да је наведену количину злата заменио сребром, али не због утаје, већ због тога што је при таквој смеси злато чвршће. Тако се спасао смртне казне.

Архимед је решавајући овај задатак први у историји физике један проблем решио експерименталним путем.

2.2.3. „Noli turbare circulos meos!“ – „Немој кварити моје кругове!“

Према легенди Архимеда је убио римски војник приликом освајања Сиракузе. Римска флота се 212. године нашла близу Сиракузе и генерал Марсел је веровао да ће ту доћи до вредног плена. Град је нападнут са мора али генералова флота била је поражена Архимедовим оружјем. Римљани се повлаче и потом врше напад са копна. Граду прилазе изненада док су Сиракужани уз вино славили богињу лова Артемис. Постоје различите верзије због чега се војник наљутио и убио старца. По једној Архимед није хтео да пође са њим док не реши проблем којим се бавио, а по другој, тражио је од војника да му не хода по круговима нацртаним у песку.

Занимљиво је да је Архимедова жеља била да на његовом гробу буде подигнут споменик, на којем ће бити два геометријска тела: ваљак и лопта. Јер је посебно био поносан на своје откриће како се односе запремине ових геометријских тела.

2.2.4. Архимедов палимпсест



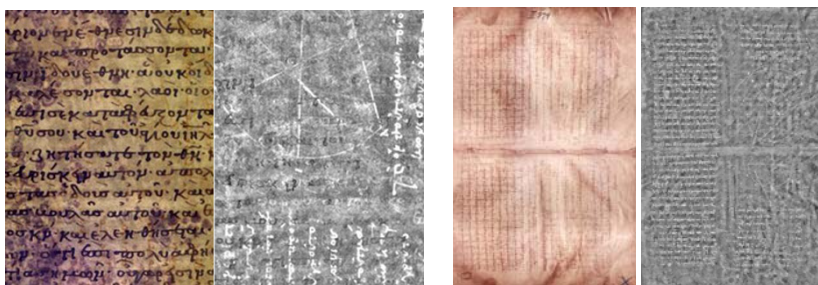
Слика 2.4. Архимедов палимпсест

Архимедов палимпсест је средњовековни рукопис на 174 листа који се састоји од више расправа (О равнотежи, О спиралама, О мерењу круга, кугле и ваљка, О пливању тела, О методама механичких теорема, Стомахион). У данашњем облику рукопис представља молитвеник. Термин палимпсест потиче из грчког језика и значи поново отиснут. Средњовековни текстови су се састојали од посебно припремљених пергамената „жигосаних“ попут животињске коже. У једном средњовековном молитвенику још 1906. године су пронађени избрисани до тада непознати текстови античког научника Архимеда.



Слика 2.5. Како је од Архимедовог рукописа настао молитвеник

Од тада тај молитвени кодекс носи име Архимедов палимпсест. Убрзо након тог открића које му је повећало вредност, кодекс се губи. У јавности се појављује поново тек крајем двадесетог века. Наставља се истраживање страница кодекса и захваљујући новим технологијама (техника снимања флуоресцентним рендгенским зрацима) откривају се нове тајне.



Слика 2.6. Молитвеник лево, Архимедов текст десно

Стомахион је игра налик пузлама коју су од Грка преузели Римљани под називом „Архимедова кутија“. Игра се састоји у томе што треба сложити 14 плочица, геометријских ликова од слонове кости, тако да оне у целини образују квадрат, што се могло постићи на различите начине. Да ли се Архимед бавио комбинаториком и покушавао одгонетнути колико је могућих начина да се плочице сложе у квадрат или је скраћивао време слажући пузле не може се знати јер у његовом палимпсесту није могуће у потпуности прочитати расправу о стомахиону.



Слика 2.7. Стомахион

2.3. О пливању тела

У делу „О пливању тела“ Архимед кроз постулате и теореме даје објашњење појаве да тело плива, тоне или лебди, и објашњење силе потиска.

Теорем III:

Чврсте количине које имају једнаку масу и тежину као течност, спуштене у течност, тако ће утонати да се не издижу изнад површине течности и још неће ићи наниже. (...)

Теорем IV:

Свако чврсто тело које је лакше од течности, спуштено у течност, неће цело уронити, него ће нешто од њега бити изван површине течности. (...)

Теорем V:

Свако чврсто тело које је лакше, спуштено у течност, толико ће уронити да онолика маса течности (запремина) колика је маса уроњеног дела тела има једнаку тежину као цело тело. (...)

Теорем VI:

Чврста тела лакша од течности, силом притиснута у течност, подићи ће се горе оноликом силом за колико је течност тежа од тела имајући са њиме једнаку масу (запремину). (...)

Теорем VII:

Тела тежа од течности, спуштена у течност, иду наниже док не сиђу (до дна) а биће у течности онолико лакша колико је тежка течност исте масе (запремине) као чврсто тело. (...)

Постулат II:

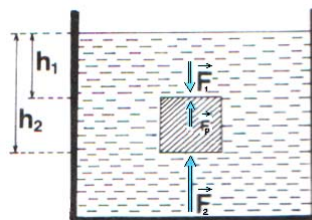
Претпоставља се да се тела која се пењу у течности издижу у усправном правцу који пролази кроз њихово тежиште.

3. Теоријски део

3.1. Сила потиска у течностима и гасовима

За подизање камена са дна реке кроз воду потребна је мања сила него при подизању истог камена кроз ваздух. Ако се гумена лопта загнури испод површине воде, па се пусти, она исплива. Предмет од дрвета потопљен испод површине воде, такође, исплива – док је дрво загнурено у воду нека сила га избацује на површину.

У течности постоји хидростатички притисак. Када се у течност урони неко чврсто тело, онда хидростатички притисак делује и на све површи потопљеног тела. Најједноставније би било разматрање уколико се изабере тело у облику квадра, чије су основе паралелне са слободном површином течности (слика 3.1). Силе на бочне стране расту са дужином воде, али су бочне силе на истој дубини у равнотежи, јер су истих јачина а супротних смерова. То значи да се потопљено тело не креће услед деловања бочних сила, нити бочне силе утичу на тежину потопљеног тела. На горњу основу потопљеног тела делује одозго наниже сила $\vec{F}_1$, која потиче од хидростатичког притиска на дубини h_1 . На доњу површину делује одоздо навише сила $\vec{F}_2$, која потиче од хидростатичког притиска на дубини h_2 . Пошто је доња површина на већој дубини, онда је и сила $\vec{F}_2$ већа од силе $\vec{F}_1$.



Слика 3.1. Сила потиска

Пошто су силе $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ колинеарне, резултанта ових сила једнака је њиховом збиру. Ова резултанта назива се сила потиска ($\vec{F}_p$):

$$\vec{F}_p = \vec{F}_2 + \vec{F}_1 \quad (3.1)$$

Интензитет силе потиска једнак је разлици интензитета F_2 и F_1 , а има смер јаче силе (F_2).

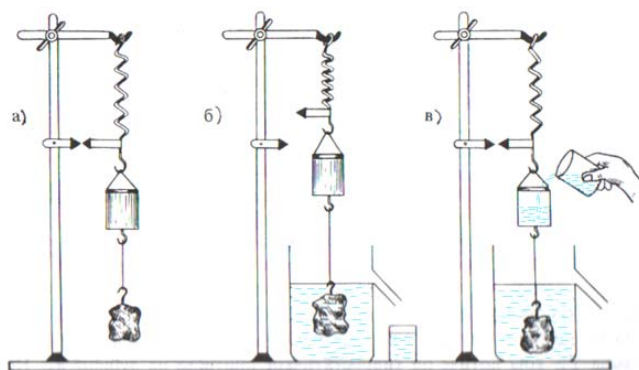
$$F_p = F_2 - F_1 \quad (3.2)$$

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 ваздуху или неком другом гасу.

3.2. Архимедов закон

Потребно је одредити бројну вредност силе потиска. Пошто је тај проблем решио Архимед сила потиска се назива и Архимедова сила. Јачина силе се може одредити помоћу једноставног прибора, приказаног на слици 3.2.



Слика 3.2. Одређивање силе потиска

На еластичну опругу (динамометар) окачи се шупљи цилиндар и тело произвољног облика. Истежање опруге забележи се на стативу (слика 3.2,а). Затим се испод тела стави суд који је напуњен течношћу до бочног отвора. Када се у тај суд тело потпуно потопи, тада кроз бочни отвор истече у чашу течност чија је запремина једнака запремини потопљеног тела. Стрелица опруге се при томе подиже, издужење опруге се смањује, јер сада на потопљено тело делује навише и сила потиска. Због тога су потопљено тело и цилиндар лакши (слика 3.2,б). Ако се у шупљи цилиндар улије телом истиснута течност, стрелица опруге се спушта до обележеног почетног положаја на стативу (слика 3.2,в). На основу тога следи закључак познат под називом Архимедов закон:

Сила потиска је једнака тежини телом истиснуте течности.

Ако се одреди тежина телом истиснуте течности, онда је истовремено одређена и бројна вредност силе потиска.

$$F_p = mg \quad (3.3)$$

$$m = \rho_0 V \quad (3.4)$$

$$F_p = \rho_0 V g \quad (3.5)$$

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

На камен испод површине воде делују две силе: Земљина тежа Q и сила потиска F_p (слика 3.3). Обе делују у вертикалном правцу, али су супротно усмерене. Сила теже (Q), која делује на камен већа је од силе потиска (F_p), јер је густина камена већа од густине воде. Резултанта ове две силе, Q_1 , усмерена је наниже.

Ако испод површине воде пустимо камен, он се креће у правцу и смеру силе Q_1 – **тоне**.

Из истог разлога метални предмети тону у води, уљу, алкохолу и другим течностима, чије су густине мање од густине метала.

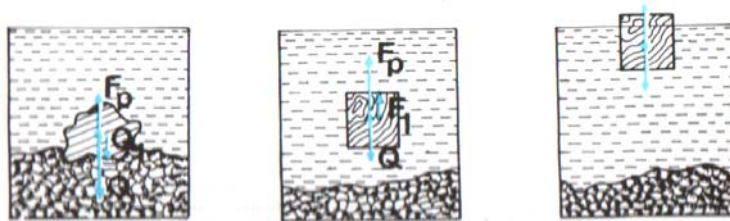
Сва чврста тела „тону“ у ваздуху, односно падају на „дно ваздуха“ – Земљину површину, јер имају већу густину од густине ваздуха.

На дрво испод површине воде, такође делују две силе: сила теже Q и сила потиска F_p (слика 3.3). У овом случају је сила потиска већа од силе теже, јер је густина воде већа од густине дрвета. Резултанта ове две силе је сада усмерена навише (F_1). Потопљено дрво се креће у правцу и смеру силе F_1 , услед чега **исплива** на површину.

Треба нагласити да се за време испливавања тела сила потиска мења. Она се смањује јер се смањује запремина потопљеног дела тела, односно смањује се запремина истиснуте течности. У тренутку када се сила потиска изједначи са силом теже, тело плива делимично зароњено у течности (слика 3.3).

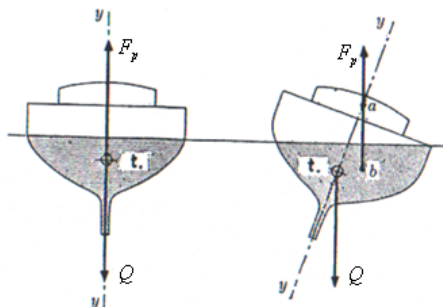
Када се на тело које плива стави мали метални тег, онда оно дубље урони. При томе тело истисне већу запремину течности, услед чега се повећава сила потиска све дотле док се не изједначи са повећаном силом теже тела са тегом. На овом принципу засновано је кретање бродова.

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.



Слика 3.3. Тело тоне, израња, плива (плута)

На наредној слици (слика 3.4) приказан је пресек корита једног брода када није нагнут и када је нагнут.



Слика 3.4. Силе које делују на корито брода када је брод усправан и када је нагнут

Када није нагнут сила теже Q и сила потиска F_p су једнаке и супротне и линије дејства обе силе пролазе кроз тежиште брода (тачку t). Када је брод нагнут тежиште истиснуте воде је померено у тачку b и линија дејства силе потиска F_p пролази кроз ту тачку. Линија дејства силе теже Q пролази кроз тежиште брода t . Сила теже и сила потиска стварају такав спрег да се брод исправља. Ако би линија дејства силе потиска пресекала уу у тачки која је нижа од тежишта, брод би био нестабилан и преврнуо би се.

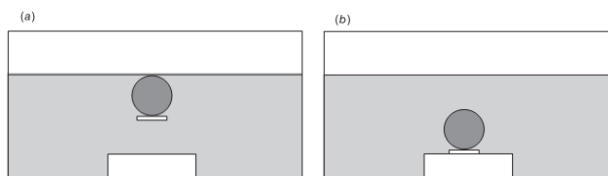
Приликом обраде Архимедовог закона требало би да се разјасне следеће заблуде које ученици могу стећи:

- да сила потиска која делује на тело зависи од количине течности (гаса),
- да сила потиска која делује на тело зависи не само од густине флуида, већ и од густине потопљеног тела.

Нетачност наведених заблуда се може једноставно показати демонстрацијама. Да би се отклонила прва довољно је мењати количину флуида у коме тело плива или тоне при чему се

може уочити да тело после те промене и даље плива, односно тоне као и раније. А другу отклања експеримент приказан на слици 3.2 у којем се одређује интензитет силе потиска, потребно је одредити силе потиска које делују на тела различите масе а исте запремине потопљена у исти флуид.

Приликом дефинисања Архимедовог закона често се заборави да се укаже на случај када тело лежи на дну тако да испод њега нема флуида. У том случају на тело не делује сила потиска. На слици 3.5 је приказано тело које испливава под дејством силе потиска (слика 3.5, лево) и исто тело које у истом флуиду остаје на дну (слика 3.5, десно) јер належа на подлогу тако да испод тела нема молекула флуида па у складу са тим на тело не делује сила потиска.



Слика 3.5 а) Тело које испливава под дејством силе потиска и б) исто тело на које не делује сила потиска јер оно належа на подлогу тако да испод њега нема молекула флуида

4. Примери, задаци и питања

Приликом обраде Архимедовог закона требало би да се формирају и развијају следећи појмови: густина тела, сила Земљине теже, тежина тела, сила потиска, пливање, лебдење, тоњење тела.

Постоје многи примери који се могу у ту сврху искористити. Пре наведеног примера и датог објашњења су наведени појмови који би могли да се понове, развијају или формирају датим примером.

4.1. Тона дрвета и тона гвожђа

ПОЈМОВИ: маса, сила теже, потисак, тежина

Познато је шaljиво питање: шта је теже, тона дрвета или тона гвожђа. Обично се одговара на то питање, без размишљања, да је тона гвожђа тежа, што изазива смех присутних, јер тона је тона. Вероватно би већи смех од наведеног одговора изазвао одговор да је тежа тона дрвета од тоне гвожђа. Иако изгледа да је таква тврдња погрешна, она је у ствари тачна.

Архимедов закон важи не само за течности већ и за гасове. Свако тело у ваздуху „изгуби“ онолико од своје тежине колико је тежак ваздух истиснут запремином тела. Дрво и гвожђе такође губе у ваздуху део своје тежине. Да би се добила њихова права тежина потребно је додати тај губитак. Према томе, права тежина дрвета у наведеном примеру је: тежина 1 тоне дрвета + тежина ваздуха који има запремину дрвета. Права тежина гвожђа је: тежина 1 тоне гвожђа + тежина ваздуха који има запремину гвожђа.

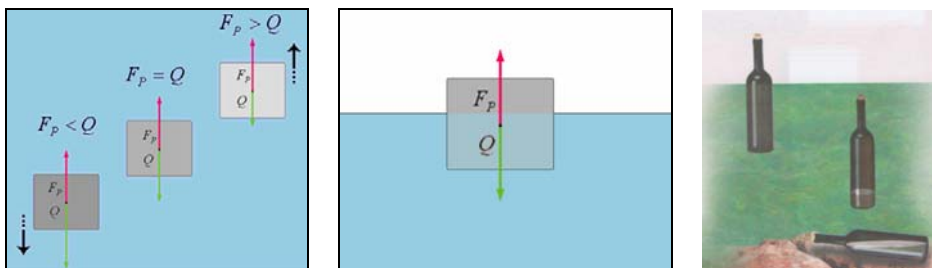
Тона дрвета има много већу запремину него тона гвожђа (око 15 пута), па је, у посматраном примеру, права тежина дрвета већа од праве тежине гвожђа. Изражавајући се тачније морало би се рећи: права тежина дрвета чија је тежина, измерена у ваздуху, једнака тежини гвожђа, такође измереној у ваздуху, у ствари је већа од праве тежине гвожђа.

Пошто тона гвожђа има запремину $1/8$ кубног метра, а тона дрвета око 2 кубна метра, то је разлика тежина ваздуха које они истискују око 25 N (што значи да се њихове масе разликују за приближно 2,5 kg). За толико је тона дрвета тежа од тоне гвожђа, што би показало мерење извршено у вакууму.

4.2. Плива, тоне, лебди

ПОЈМОВИ: потисак, сила теже, густина, плива, лебди, тоне

Да ли ће тело које поставимо на површину воде пливати на њој и да ли 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.



Слика 4.1. Тело тоне, лебди, испливава (светлијом бојом је приказано тело мање густине); тело плива; пример – боце испуњене различитим количинама песка

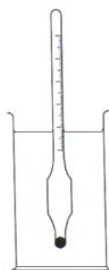
У случају где је сила теже већег интензитета од силе потиска тело тоне, оно се нађе у равнотежи тек када падне на дно. Тело које лебди је у равнотежи на било којој дубини у течности јер су сила Земљине теже и сила потиска једнаког интензитета. Када је сила теже мањег интензитета од силе потиска тело испливава, када дође до површине течности даљим кретањем навише се смањује интензитет силе потиска (смањује се запремина потопљеног дела тела) и када се интензитети те две силе изједначе тело се заустави и плива на површини течности.

4.3. Ареометар

ПОЈМОВИ: потисак, густина, специфична тежина течности, ареометар

Густина или специфична тежина течности ($\sigma = \frac{Q}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$) се могу одредити помоћу ареометра. Метода мерења ареометром се заснива на чињеници да се специфична тежина два различита флуида истих тежина односе обрнуто пропорционално запремини флуида.

Ареометар је стаклена цев цилиндричног облика која је са доње стране испуњена оловом или живом, да би потопљена у течност стајала усправно (слика 4.2). На горњој половини цеви налази се калибрисана скала, са подеоцима који означавају вредност релативне специфичне тежине испитиване течности. Вредности специфичних тежина расту од горњег дела скале ка доњем, јер уколико је специфична тежина течности већа она истискује ареометар више изнад нивоа течности (већа је сила потиска).



Слика 4.2. Ареометар

4.4. Летелице лакше од ваздуха

ПОЈМОВИ: потисак, сила теже, густина, лебдење

Ваздух као и течности има тежину и врши притисак. На нивоу мора тежина 1m^3 ваздуха износи $12,5\text{N}$, а његов притисак око 10^5Pa . Са повећањем висине густина ваздуха и притисак у њему брзо се смањује. Висина од 60km на којој су притисак и густина смањени око 4000 пута обично се сматра границом атмосфере.

Архимедов закон који се односи на силу потиска у течности важи и за гасове, па тако и за ваздух. Тако су људи дошли на идеју да направе таква средства којима ће се моћи услед деловања силе потиска подићи у ваздух. Таква средства би морала да буду лака и да истисну велику запремину ваздуха. По првобитној замисли то би требало да буду велики балони из којих је извучен ваздух. Но на такве балоне би деловала велика сила атмосферског притиска, па ви требало да имају врло чврст оклоп.

Међутим, није било могуће направити такав оклоп који би истовремено био и довољно лак и довољно чврст. Зато се потражио неки други начин да би се остварила идеја. Направљене су велике лопте (балони) које су се пуниле гасом лакшим од ваздуха. Тако се постигла равнотежа притиска гаса у балону и ваздуха ван њега. Од гасова се у ту сврху прво користио водоник, али пошто је лако запаљив пречло се на хелијум. Водоник је 14 пута, а хелијум 7 пута лакши од ваздуха. Први ваздушни балон који су направила браћа Монголфје крајем осамнаестог века у Француској био испуњен топлим ваздухом. У двадесетом веку коришћени су ваздушни балони који су достигли висину од 22km . Пре лета авиона, ракета и сателита ваздушним балонима се долазило до разних података о горњим слојевима атмосфере који су били врло корисни за метеорологију и друге науке.

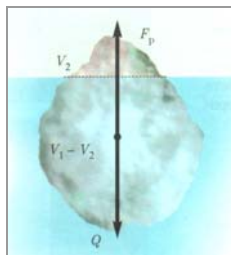


Слика 4.3. Примена Архимедовог закона при изради првих летелица (балона)

4.5. Санта леда

ПОЈМОВИ: потисак, маса, запремина, густина, пливање

Смрзавањем чисте воде она прелази у лед и том приликом повећава своју запремину за деветину запремине воде. Који део запремине санте вири из воде?



Слика 4.4. Силе које делују на санту леда која плива на површини мора

$$\Delta V = \frac{V}{9}, \quad x = \frac{V_2}{V_1} = ?$$

Запремина леда је $V_1 = V + \Delta V$. Санта плива када су сила потиска (на део санте у води) и њена укупна тежина једнаке по интензитету:

$$Q = F_p,$$

те две силе се могу изразити као:

$$Q = m_1 g = \rho_1 V_1 g \text{ и}$$

$$F_p = m_v g = \rho_v (V_1 - V_2) g = \rho_v V_1 \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right) g.$$

Изједначавањем тих израза следи:

$$\rho_1 = (1 - x) \rho_v \Rightarrow x = 1 - \frac{\rho_1}{\rho_v}.$$

Однос густине леда и воде се налази из чињенице да се маса воде није променила при њеном преласку у лед:

$$m_v = m_1; \rho_v V = \rho_1 (V + \Delta V)$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_v} = \frac{V}{V + \Delta V} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta V}{V}} = \frac{1}{1 + \frac{1}{9}} = 0,9$$

$$x = 1 - 0,9 = 0,1.$$

Значи да велика већина санте (чак 9/10) лежи „скривена“ испод површине воде. О томе морају водити рачуна капетани бродова.

4.6. Питања

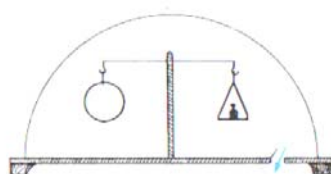
1. Зашто на тела потопљена у течности или гасу делује сила потиска?
 - Због тога што на горњу површину потопљеног тела делује одозго наниже сила $\vec{F}_1$, која потиче од хидростатичког притиска на дубини h_1 , а на доњу површину делује одоздо навише сила $\vec{F}_2$, која потиче од хидростатичког притиска на дубини h_2 . Доња површина је на већој дубини, па је и сила $\vec{F}_2$ већа од силе $\vec{F}_1$ и њихова резултанта је сила потиска усмерена навише која делује на тело.
2. Какав је правац и смер силе потиска?
 - Сила потиска делује у вертикалном правцу са смером навише.
3. Ако течност и потопљено тело имају исту густину, како ће се понашати потопљено тело?
 - Ако течност и потопљено тело имају исту густину, потопљено тело ће лебдети у течности на месту где је уроњено, неће ни потонути нити ће испливати.
4. Две дрвене кугле, истих димензија и од исте врсте дрвета, пливају у различитим течностима: једна у води, а друга у алкохолу. Упоредити запремине зароњеног дела кугле и упоредити силе потиска у овим течностима.
 - Пошто су у питању исте кугле и оне у оба случаја пливају, на обе (у води и алкохолу) делује иста сила потиска која је по интензитету једнака сили теже која делује на њих:

$$\rho_v V_v g = \rho_a V_a g$$

Где је ρ_v густина воде, V_v запремина зароњеног дела тела у води, ρ_a густина алкохола, V_a запремина зароњеног дела тела у алкохолу, па је:

$$\frac{V_v}{V_a} = \frac{\rho_a}{\rho_v}.$$

5. Бакарни и алуминијумски тег имају исте масе. На који тег ће испод површине воде деловати већа сила потиска?
- Испод површине воде већа сила потиска ће деловати на тело веће запремине, пошто су масе тегова исте већу запремину ће имати тег мање густине. Значи, на алуминијумски тег ће деловати већа сила потиска.
6. Испод стакленог звона уравнотежене су терезије; за леви крак терезија учвршћен је стаклени балон, а за десни крак – тег. Када се испод звона извуче ваздух, равнотежа се поремети. Који ће се крак терезија спустити? Објаснити потпуније ову појаву (слика).



Слика 4.5. Мерење тежине у ваздуху и у вакууму

- Спустиће се леви крак терезија за који је причвршћен стаклени балон, јер је приликом уравнотежавања терезија у ваздуху на њега деловала већа сила потиска која га је чинила лакшим, а у вакууму сила потиска не делује.

4.7. Експериментални задатак на 3. Српској физичкој олимпијади за основну школу

На 3. Српској физичкој олимпијади за основну школу као експериментални задатак се нашао задатак у вези са Архимедовим законом – један леп пример како се може одредити густина материјала. Задатак је следећи (дато је и његово решење према кључу, као и начин бодовања):

ЗАДАТАК

Мерењем периода осциловања клатна, формираног од добијене кугле и нити, одредити густину материјала од кога је направљена кугла. Проценити грешку мерења.

Напомена: Густина воде је $\rho_0 = 1 \text{ g/cm}^3$.

Препорука: Мерити период осциловања клатна различитих дужина у ваздуху и у води.

Мерни комплет:

1. Кугла са нити
2. Хронометар
3. Посуда са водом

Теоријски увод

Кугла се може посматрати као математичко клатно и када осцилује у ваздуху и када осцилује у води. Период математичког клатна, чију нит у равнотежном положају затеже сила F износи

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{F}} = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{F}}.$$

Задатак носи 25 бодова:

8 бодова – за тачну формулу за тражену густину изражену преко величина које се могу мерити датим мерним комплетом.

Ако ученик не може да изведе ни једну формулу помоћу које може да одреди тражену густину, ученик може тражити од дежурног формулу из званичног решења. Ученик који искористи ову могућност може освојити највише 17 бодова.

ПОМОЋ

Период математичког клатна у ваздуху износи

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

У води нит затеже разлика силе Земљине теже и силе потиска, па је

$$\frac{F}{m} = \frac{mg - m_{\text{vode}}g}{m} = \left(1 - \frac{m_{\text{vode}}}{m}\right)g = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)g,$$

а период клатна износи

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)g}} = 2\pi \sqrt{\frac{\rho}{\rho - \rho_0} \frac{l}{g}} = T_0 \sqrt{\frac{\rho}{\rho - \rho_0}} \quad (5).$$

Густину куглице је могуће одредити мерењем периода осциловања клатна исте дужине у води и ваздуху

$$\rho = \rho_0 \frac{T^2}{T^2 - T_0^2} \quad (3).$$

Задатак може бити решен на више начина који омогућавају мерење тражене густине са различитом поузданошћу, односно са различитом грешком мерења. У зависности од квалитета коришћене методе мерења ученици могу освојити следећи број бодова:

7 бодова – за коректно извршена мерења из којих се може израчунати тражена густина са грешком као у званичном решењу, или мањом грешком,

5 или 3 бода (уместо 7) – за коректно извршена мерења из којих се може израчунати тражена густина са већом грешком него у званичном решењу,

7, 5 или 3 бода – за тачно одређену густину из мерења која доносе 7, 5 или 3 бода,

3, 2 или 1 бод – за процену грешке мерења за мерења која доносе 7, 5 или 3 бода.

За добијање максималног броја бодова није потребно цртати график било какве зависности, а грешку мерења је довољно грубо проценити (не писањем грешке без икаквог образложења).

РЕШЕЊЕ

Да би грешка мерења била што мања, периоде клатна треба мерити у различитим условима, односно за различите дужине клатна. За сваку дужину период треба измерити најмање три пута.

l_i	1	2	3	4	5	6
$t_i[s]$	16.68	16.30	14.93	14.45	12.89	12.11
	16.65	16.33	14.96	14.43	12.89	12.08
	16.68	16.30	14.96	14.42	12.86	12.12
$t_s[s]$	16.67	16.31	14.95	14.43	12.88	12.10
$T_0[s]$	1.667	1.631	1.495	1.443	1.288	1.210
$T_0^2[s^2]$	2.779	2.660	2.235	2.082	1.659	1.464
$t_i[s]$	18.18	17.53	15.93	15.59	13.87	13.02
	18.20	17.58	15.95	15.58	13.83	13.02
	18.14	17.56	16.02	15.61	13.83	13.02
$t_s[s]$	18.17	17.56	15.97	15.59	13.84	13.02
$T[s]$	1.817	1.756	1.597	1.559	1.384	1.302
$T^2[s^2]$	3.303	3.083	2.550	2.430	1.916	1.695

Табела 4.1. Резултати мерења

7 бодова – за најмање три коректна мерења на најмање три различите три дужине клатна у ваздуху и у води, или квалитетнија мерења.

5 бодова – за најмање три коректна мерења за једну дужину клатна, или по једно мерење за најмање три дужине клатна.

3 бода – за једно коректно мерење за једну дужину клатна.

Коришћењем експериментално добијених података за периоде клатна у ваздуху и у води, може се израчунати густина материјала од којег је кугла направљена.

$$\begin{aligned}\rho_1 &= \rho_0 \frac{T_1^2}{T_1^2 - T_{01}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{3.303 \text{ s}^2}{(3.303 - 2.779) \text{ s}^2} = 6303 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ \rho_2 &= \rho_0 \frac{T_2^2}{T_2^2 - T_{02}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{3.083 \text{ s}^2}{(3.083 - 2.660) \text{ s}^2} = 7288 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ \rho_3 &= \rho_0 \frac{T_3^2}{T_3^2 - T_{03}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{2.550 \text{ s}^2}{(2.550 - 2.235) \text{ s}^2} = 8095 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ \rho_4 &= \rho_0 \frac{T_4^2}{T_4^2 - T_{04}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{2.430 \text{ s}^2}{(2.430 - 2.082) \text{ s}^2} = 6983 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ \rho_5 &= \rho_0 \frac{T_5^2}{T_5^2 - T_{05}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{1.916 \text{ s}^2}{(1.916 - 1.659) \text{ s}^2} = 7455 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ \rho_6 &= \rho_0 \frac{T_6^2}{T_6^2 - T_{06}^2} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{1.695 \text{ s}^2}{(1.695 - 1.464) \text{ s}^2} = 7338 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \\ \rho_s &= \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5 + \rho_6}{6} = \frac{43461.8 \text{ kg} / \text{m}^3}{6} = 7244 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.\end{aligned}$$

7, 5 или 3 бода – за тачно одређену густину из мерења која доносе 7, 5 или 3 бода

Грешка се може грубо проценити као највеће одступање од средње вредности.

$$\Delta \rho = (8095 - 7244) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 851 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \Delta \rho \approx 900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \text{или} \quad \Delta \rho \approx 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2.7).$$

Резултат мерења се може написати у облику

$$\rho = (7200 \pm 900) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad \text{или} \quad \rho = (7000 \pm 1000) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (0.3)$$

3, 2 или 1 бод – за процену грешке мерења за мерења која доносе 7, 5 или 3 бода.

4.8. Паја Патак – геније

У септембру 1964. године „Ал Кувајт“, теретни брод тежак две хиљаде седамсто тона, потонуо је недалеко од кувајтске луке. Брод је преносио шест хиљада оваца и постојала је реална могућност да ће лешеве животиња затровати воду па због тога власти нису могле да га оставе на дну мора. Због тога је требало што пре извући брод на површину, али нико није имао идеју како то да се изведе. Међутим, неко се сетио Карла Кројера, данског проналазача који је својим изумима стекао светску славу. Он је тражио да му дају времена да размисли.

У децембру је почео да се спроводи план за подизање „Ал Кувајта“ с морског дна. Кројер је дао оригиналну идеју да се брод испуни с лоптицама од посебне пластике величине грашка које би набубриле и запремина би им се повећала. Тако је посебним пумпама у брод убачено око тридесет милијарди тих лоптица.

Карл Кројер је био у праву. „Ал Кувајт“ се одлепио с дна и испливао на површину. Операција је била успешно окончана. Поставило се питање откуд данском изумитељу тако необична замисао. Каже да се сетио једне стрипске епизоде назване „Потонули једрењак“. У настојању да с дна мора спасе брод Баје Патка, Паја Патак је одлучио да га испуни пинг-понг лоптицама. Зна се да је Карл Баркс, који се у Дизнијевом студију издвајао као човек који је био поткован научним знањем, смишљао текст за чувеног патка. Баркс је стрип „Потонули једрењак“ урадио 1949. године. Петнаест година касније Кројер је замисао Паје Патка спровео у дело.

Јасно је да се Карл Баркс сетио Архимеда и његову идеју пренео Паји, да ли се Кројер заиста сетио Паје пре Архимеда или је то само лепа прича није ни било значајно. „Ал Кувајт“ је захваљујући сили потиска и домишљатости да се Архимедов закон примени у датој ситуацији извучен на површину воде. Свакако, научно знање смештено у оквир стрипа или дечијег и анимираног филма може пробудити радозналост, интересовање за науку, а такође и подстаћи на размишљање децу различитог узраста.

5. Демонстрациони огледи

„Мали“ експерименти који могу послужити да би се увели, формирали, развијали или поновили одговарајући појмови се уводе тако што се полази од најједноставних који су погодни и за ученике нижих разреда основне школе. У оквиру сваког експеримента најпре се наводе појмови који могу бити обрађени, затим циљ експеримента, потребан материјал за извођење, упутство како се експеримент припрема и изводи, шта се при томе уочава и које је објашњење.

5.1. Да ли лимун плута или тоне?

ПОЈМОВИ

густина, потисак, Архимедов закон

ЦИЉ

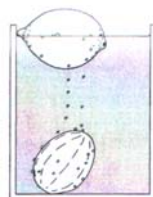
Показати да то да ли тело плива или тоне зависи од средње густине тела.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

- лимун или наранџа
- провидна посуда

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

У посуду ставити огуљен и неогуљен лимун. Посматрати шта се догађа.



Слика 5.1. Лимун као подморница

ЗАПАЖАЊЕ

Уколико се лимун стави у посуду са водом он ће плутати, ако се лимун огули он потоне.

ОБЈАШЊЕЊЕ

Пошто унутрашња страна лимуна поред биљних ћелија обухвата и много мехурића ваздуха, ти мехурићи ваздуха смањују укупну густину лимуна, па је средња густина неогуљеног лимуна мања од густине воде и он плива по површини воде. Ако се лимун огули ваздух напушта простор унутар лимуна и с обзиром да је густина ћелија лимуна већа од густине воде он потоне.

Наведени једноставни експеримент се може задати и најмлађој деци, јер се врло лако изводи а може послужити за увођење појма густине и силе потиска.

5.2. Пинг-понг лоптица у левку

ПОЈМОВИ

потисак, сила теже, притисак, хидростатички притисак

ЦИЉ

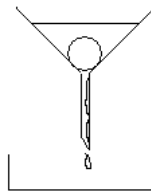
Показати и објаснити потисак у течностима.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

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

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

Ставити пинг-понг лоптицу у левак. Левак држати изнад посуде и сипати воду у њега. Посматрати шта се дешава. Затворити доњи крај левка прстом и посматрати шта се дешава.



Слика 5.2. Пинг-понг лоптица у левку

ЗАПАЖАЊЕ

Уколико се постави пинг-понг лоптица у левак и у њега се сипа вода, лоптица неће пливати на површини него ће остајати на дну левка. У зависности од тога како лоптица затвара левак већа или мања количина воде ће истичати из њега. Уколико се доњи крај левка затвори прстом, лоптица ће искочити на површину воде.

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, тако сада на лоптицу делује сила потиска, која је избаци на површину воде.

5.3. Измери прст

ПОЈМОВИ

сила потиска, III Њутнов закон

ЦИЉ

Показати дејство силе потиска и демонстрирати III Њутнов закон.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

- вага
- чаша, делимично напуњена водом
- тегови



Слика 5.3. Потребан материјал за извођење експеримента Измери прст

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

Ставити чашу делимично напуњену водом на један тас ваге и измерити је. Ставити прст у воду тако да не додирује ни дно нити стране чаше. Посматрати шта се догађа.



Слика 5.4. Извођење експеримента Измери прст

ЗАПАЖАЊЕ

Тас на ком је чаша постаје тежи од постављених тегова.

Повећање тежине је веома мало ($5 - 10 \text{ g}$). Да би промена тежине била уочљивија уместо прста може се уронити цела шака. Повећање тежине је у овом случају од $200 - 250 \text{ g}$.

ОБЈАШЊЕЊЕ

Ако се чаша са водом постави на вагу, а прст се урони у воду, на њега делује сила потиска воде, која тежи да га истисне из воде. На основу III Њутновог закона, закона „акције и реакције“, сила потиска (акција) изазива силу исте јачине, а супротног смера (реакција) којом прст делује на воду. Додатна сила, која делује на тас ваге, је сила којом прст „потискује“ воду. Зато је чаша са уроњеним прстом тежа од постављених тегова.

5.4. Нарушена равнотежа

ПОЈМОВИ

потисак, сила потиска, равнотежа

ЦИЉ

Показати дејство силе потиска и како она може смањити тежину тела.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

- вага са два таса
- балон и конац
- есенција сирћета
- прашак за пециво или сода-бикарбона
- папирна чаша
- мали левак, сламчица



Слика 5.5. Потребан материјал за извођење експеримента Нарушена равнотежа

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

Сипати помоћу левка мало есенције у балон, тако да се балон не почне ширити. Завезати балон концем тако да се направи машница, да би се касније могао лако одвезати (слика 5.6, лево). Спољашњи део балона добро испрати водом, како на њему не би остало есенције. Добро осушити балон, одвезати га, напунити прашком за пециво, а потом поново добро завезати концем.

Ставити балон на један тас ваге. Равнотежу успоставити пластичном чашом. Поставити је на други тас и у њу досипати воду. Да би се постигла равнотежа, непоходно је лагано сипати воду, кап по кап, па је згодно користити сламчицу.



Слика 5.6. Извођење експеримента Нарушена равнотежа

ЗАПАЖАЊЕ

После извесног времена балон ће се надувати. Тас на ком се балон налази подићи ће се нагоре, а равнотежа терезија ће се нарушити (слика 5.6, десно).

ОБЈАШЊЕЊЕ

На балон који се налази на једном тасу, делују сила теже надоле и сила потиска, нагоре. Када се есенција и прашак за пециво помешају, долази до хемијске реакције при којој настаје угљендиоксид, који надува балон. Због повећања запремине балона, сила потиска постаје већа. Тас на ком се налази балон се подиже, иако се укупна маса балона и његовог садржаја, није променила.

5.5. Како се лед топи, да ли подиже ниво мора?

а) Да ли лед подиже ниво мора?

ПОЈМОВИ

топљење, глечери, санте леда

ЦИЉ

Показати да континентални лед подиже ниво мора, док топљење санте леда које пливају на површини мора не утиче на повећање нивоа воде.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

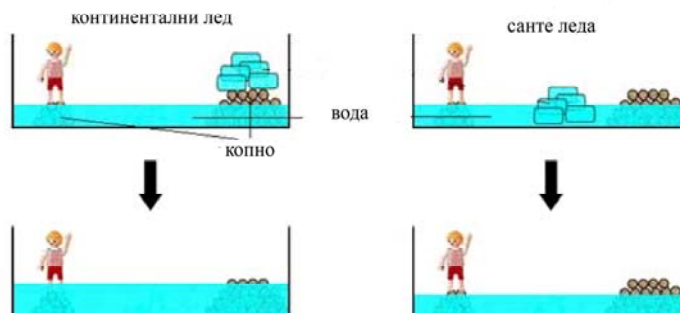
- две пластичне посуде
- два комада цигле исте висине
- лед
- вода
- фломастер

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

Ставити у сваку посуду по једни циглу. У посуде сипати воду до истог нивоа, тако да цигле вине изнад површине воде. У прву посуду ставити лед тако да буде на цигли, без контакта са водом, а у другу исту количину леда ставити у воду. Доливати воду у прву посуду све док се нивои у обе посуде не изједначе. Забележити фломастером ниво воде у обе посуде. Сачекати да се лед истопа и посматрати шта се догађа са нивоом воде у посуди. Забележити фломастером ниво воде у обе посуде после отапања леда.

ЗАПАЖАЊЕ

У првој посуди се ниво воде повећао, а у другој је остао исти.



Слика 5.7. Да ли топљење леда изазива промену нивоа воде у мору?

ОБЈАШЊЕЊЕ

У првој посуди лед није у води. Ако се овакав лед топи, исто као када се у природи топи континентални лед, ниво воде у посуди се повећава. Када се лед налази у води, као у случају ледених санди, приликом топљења запремина се неће променити. То значи да се ниво океана повећава услед топљења континенталног леда.

б) Како се топи лед?

ПОЈМОВИ

потисак, сила теже, плива, лебди, тоне, топљење

ЦИЉ

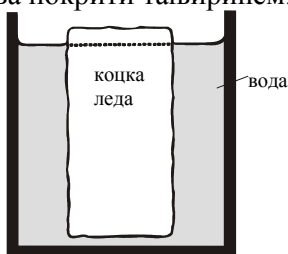
Показати да топљење леда који плива на површини воде не утиче на повећање нивоа воде.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

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

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

У чашу ставити што је могуће већи комад леда и сипати воду све док лед не почне да плива. Ниво воде обележити пре и после топљења леда. Да испаравање воде не би утицало на ниво воде у чаши, чашу за време топљења покрити тањираћем.



Слика 5.8. Како се лед топи

ЗАПАЖАЊЕ

И када се комад леда истопа, ниво воде у чаши остаје исти.

ОБЈАШЊЕЊЕ

На тело зароњено у воду, делује сила потиска $\vec{F}_p$. Сила потиска је једнака тежини телом истиснуте течности. Ако је сила потиска која делује на површини воде, $\vec{F}_p$, већа од силе Земљине теже која делује на тело потопљено у воду, $\vec{G}$, на тело делује сила $\vec{F}_p + \vec{G}$ која резултује убрзањем усмереним ка површини воде. У случају када тело плута по површини

$\vec{G} = \vec{F}_p$, где је $\vec{F}_p$ сила потиска воде – тежина воде исте запремине као и запремина дела тела потопљеног у воду.

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

$\rho_{\text{leda}} = 0,917 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, $\rho_{\text{vode}} = 0,999 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ и због тога комад леда плута по површини воде.

Сила потиска је:

$$\begin{aligned} F_p &= m_v g = \rho_v V_v g \\ F_p &= \rho_v h_v S g \end{aligned} \quad (5.1)$$

где су ρ_v, m_v, V_v , густина, маса и запремина истиснуте воде, h_v -висина дела коцке леда који је потопљен у течност, S -површина основе коцке леда, g - убрзање.

Сила теже која делује на коцку леда је:

$$\begin{aligned} G &= m_l g = \rho_l V_l g = \rho_l h_l S g \\ G &= \rho_l h_l S g \end{aligned} \quad (5.2)$$

где су ρ_l, m_l, V_l , густина, маса и запремина коцке леда, h_l -висина коцке леда. Ако лед плута силе које делују на њега су истог интензитета:

$$G = F_p \quad (5.3)$$

На основу израза (5.1), (5.2) и (5.3) може се добити разлика између висине коцке леда и њеног дела потопљеног у течност:

$$\Delta h = h_l - h_v = h_l \left(1 - \frac{\rho_l}{\rho_v} \right) \quad (5.4)$$

Како се може видети, из воде вири у идеалном случају, део леда квадратног облика висине $\sim \frac{1}{12} h_l$:

У комаду леда садржана је тачно она маса воде у чврстом агрегатном стању, која у течном агрегатном стању испуњава запремину V_v . Ако се комад леда истопи, ниво воде ће остати исти као и пре топљења.

Код овог експеримента је важно, да комад леда стварно плута. 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 плутају једна поред друге. У оба случаја површина воде у односу на њену висину у суду, би требало да буде толико мала, да би се свака промена нивоа могла приметити.

5.6. Балони падају – лебде

ПОЈМОВИ

сила потиска, сила теже

ЦИЉ

Показати како тело може да плута, лебди или тоне.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

- балони
- већа стаклена кутија
- угљен-диоксид (на пример из апарата за гашење пожара)

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

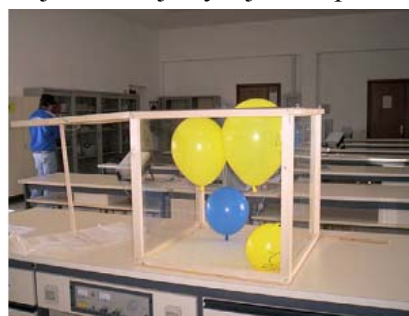
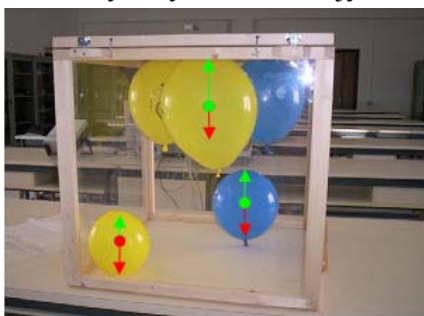
Надувати балоне до различитих величина. Кутију испунити угљен-диоксидом и у њој затворити надуване балоне. Посматрати шта се дешава. Отворити кутију и посматрати шта се тада дешава.



Слика 5.9. Припрема експеримента Балони падају – лебде

ЗАПАЖАЊЕ

Неки балони лебде у гасу а неки падају на дно. Исто је и када је кутија отворена.



Слика 5.10. Неки балони лебде у гасу а неки падају на дно

ОБЈАШЊЕЊЕ

На сваки балон делује сила теже чији интензитет зависи од масе балона (то је збирна маса материјала од којег је балон сачињен и ваздуха који испуњава балон) и сила потиска која зависи од запремине балона. Што је запремина балона већа то је и сила потиска која делује на балон већа па као што се види на слици већи балони лебде док мањи падају доле. Овде је значајно то што је угљен-диоксид тежи од ваздуха, а то је и разлог због чега се ништа не мења још неко време пошто се кутија отвори (угљен-диоксид остаје у њој). Потребно је још приметити и то да повећање запремине балона значајно промени (повећа) силу потиска и изазива много мање повећање силе теже због повећања масе балона, услед тога што је у већој запремини већа количина ваздуха.

5.7. Зашто се тежина ваздуха не може измерити помоћу ваге?

ПОЈМОВИ

густина и тежина ваздуха, сила потиска

ЦИЉ

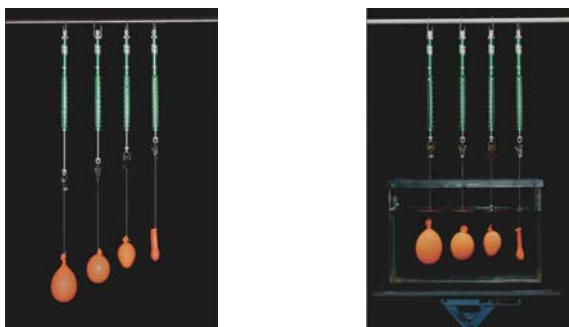
Честа заблуда међу децом је мишљење да ваздух нема тежину. Још већа грешка се чини покушајима да се сликом илуструје чињеница да је више надуван балон тежи – где се приказује да се исти балони са различитом количином ваздуха у њима на теразијама не налазе у равнотежи. Појам густине и тежине ваздуха је тешко објаснити јер се присуство ваздуха и ефекти које изазива не уочавају приликом мерења. Једноставним експериментом може се показати због чега се не може измерити тежина ваздуха и шта је грешка код наведене илустрације.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

- четири једнака балона који су предвиђени за пуњење водом
- четири једнака динамометра
- четири једнака тега од 5g
- вода
- аквариум

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

У четири једнака балона који су предвиђени за пуњење водом се стави по исти тег (на пример 5 грама) и испуне се приметно различитом количином воде при чему се у један не досипа вода. Балони се затим окаче на четири једнака динамометра и посматра се шта динамометри показују. Затим се цео систем поставити у воду која се налази на истој температури као и вода у балонима тако да су балони потпуно потопљени и посматра се које тежине сада показују динамометри.



Слика 5.11. Зашто се тежина ваздуха не може измерити помоћу ваге

ЗАПАЖАЊЕ

Када се систем налази у ваздуху динамометри ће показивати различите тежине. Када су балони потпуно потопљени у води сва четири динамометра ће показивати исту тежину која одговара тежини масе приближно 5 грама (слика 5.11).

ОБЈАШЊЕЊЕ

Ова демонстрација врло јасно илуструје и визуализује због чега се тежина ваздуха не може измерити у ваздуху. Сила потиска дефинисана Архимедовим законом једнака је тежини воде у балону и пошто се дејства ове две силе поништавају динамометри показују приближно тежину тег. Мала разлика се јавља због тога што постоји још и материјал од којег је сачињен балон (који има неку масу). Иста демонстрација се не може извести тако једноставно коришћењем ваздуха уместо воде јер је ваздух стишљив и обичан дечији балон ограничава запремину коју заузима и услед тога је притисак ваздуха унутар балона већи, односно због тешког истезања материјала од којег је балон сачињен запремина ваздуха у

балону је мања од запремине коју би иста маса ваздуха заузела на датој температури када запремина не би била ограничена.

5.8. Одређивање густине тела без мерења његове масе и запремине

ПОЈМОВИ

Архимедов закон, момент силе, равнотежа

ЦИЉ

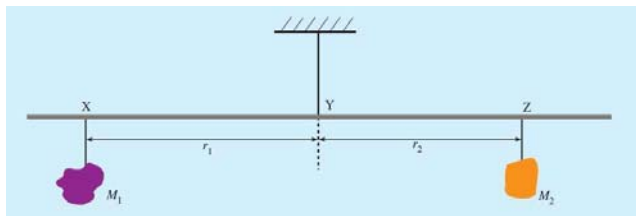
Показати како се може, на основу Архимедовог закона, одредити густина тела без мерења његове масе и запремине. Густина се одређује на основу одређивања момента сила и познавања густине течности.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

- полуга
- два тела
- клупица и посуда
- вода

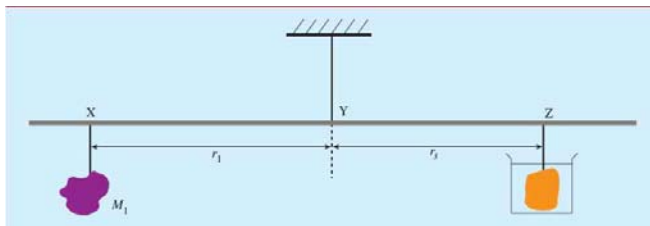
ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

На десни крај теразија поставити тело масе M_2 , чија се густина одређује, а на леви крај теразија тело масе M_1 , помоћу кога се уравнотежују теразије (слика 5.12). Одредити растојања тела од тачке ослонца r_1 и r_2 .



Слика 5.12. Уравнотежене теразије када су оба тела у ваздуху

Полако спуштати тело масе M_2 све док не буде потпуно уроњено у воду. Померати тело масе M_2 заједно са чашом са водом полако дуж полуге све док се поново не успостави равнотежа (Слика 5.13).



Слика 5.13. Уравнотежене теразије када је једно тело уроњено у воду

Одредити растојања тела од тачке ослонца r_1 и r_3 . Покушати на основу познавања услова за равнотежу полуге и густине воде, $\rho_v = 10^3 \frac{kg}{m^3}$, одредити густину тела M_2 .

ЗАПАЖАЊЕ

Када се тело масе M_2 урони у воду равнотежа се наруши, поново се успостави мењањем растојања тела уроњеног у воду од тачке ослонца.

ОБЈАШЊЕЊЕ

Када се тела налазе у ваздуху, а полуга је у равнотежи важи:

$$M_1 g r_1 = M_2 g r_2 \quad (5.5)$$

Ако се тело масе M_2 потопи у воду, на њега по Архимедовом закону, делује сила потиска која је једнака тежини телом истиснуте течности: $F_p = \rho_v V_2 g$, где је V_2 запремина телом истиснуте воде која је једнака запремини тела потопљеног у воду. Услов за равнотежу полуге у овом случају је:

$$M_1 g r_1 = M_2 g r_3 - F_p r_3$$

одакле је:

$$M_2 g r_3 - M_1 g r_1 = F_p r_3 \quad (5.6)$$

Из једнакости (5.5) је: $M_1 = M_2 \frac{r_2}{r_1}$. Заменом у (5.6) добија се:

$$M_2 g r_3 - M_2 g \frac{r_2}{r_1} r_1 = F_p r_3 \quad (5.7)$$

Пошто је $M_2 = \rho_2 V_2$ следи:

$$\rho_2 V_2 g r_3 - \rho_2 V_2 g r_2 = \rho_v V_2 r_3 \quad (5.8)$$

одакле је:

$$\rho_2 = \frac{\rho_v}{1 - \frac{r_2}{r_3}} \quad (5.9)$$

Ово је један од начина како се може одредити густина чврстог тела, а да се не мери ни његова маса, ни запремина.

5.9. Картезијански гњурац

ПОЈМОВИ

сила потиска, сила теже

ЦИЉ

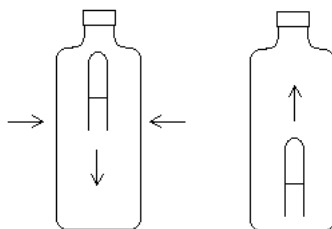
На врло занимљив начин демонстрирати појаву силе потиска, објаснити како ради рибљи мехур

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

- провидна пластична боца са затварачем (од 2l)
- епрувета (дужине 10-15cm, пречника 1,0-1,5cm)
- вода

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

Боцу до врха напунити водом. У епрувету сипати воду до четвртине њене запремине и поставити је у боцу отвором нагоре. Досипати воду у епрувету све док њен врх не буде 1-2 mm изнад отвора боце. На тај начин је одређена запремина ваздуха у епрувети који ће заједно са епруветом бити унет у боцу. Благо притиснути боцу да би епрувета мало испливала из ње, тако да може да се извади из боце. Поново напунити боцу до врха водом. Затворити отвор епрувете кажипрстом, окренути је отвором надолу и уронити у боцу. Дно епрувете би требало да је поравнато са нивоом воде у боци да би апаратура добро функционисала. Епрувета не потоне због силе потиска која на њу делује. Затворити боцу и апаратура је завршена. Стиснути благо боцу и посматрати шта се дешава, потом попустити стисак.



Слика 5.14. Картезијански гњурац

ЗАПАЖАЊЕ

Када се боца благо стисне епрувета се креће надоле. Ако се попусти стисак она се креће нагоре.

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 уроњеног 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.

Картезијански гњурац или Картезијански ђаво назван је тако по Декарту (René Descartes, 1596 – 1650) иако не постоје докази да је Декарт први приказао демонстрацију Архимедовог закона помоћу Картезијанског гњураца. Раније је апаратура била реализована са провидном посудом и помичним клипом (слика 5.15). Данас се врло једноставно може реализовати помоћу пластичне боце.



Слика 5.15. Различите реализације Картезијанског гњураца

На објашњеном принципу „ради“ рибљи мехур. То је начин на који рибе мењају дубину.

Исти принцип користи се и код Галилејевог термометра и код лава лампе.

Галилејев термометар је инструмент за мерење температуре у облику затвореног стакленог цилиндра испуњеног прозирном течношћу у којој су уроњени тегови различите просечне густине. Обично су у облику шупљих стаклених кугли делимично испуњени течностима различитих боја. Густина прозирне течности зависи од температуре, па тегови чија је густина већа тону на дно, а они чија је густина мања пливају при врху.

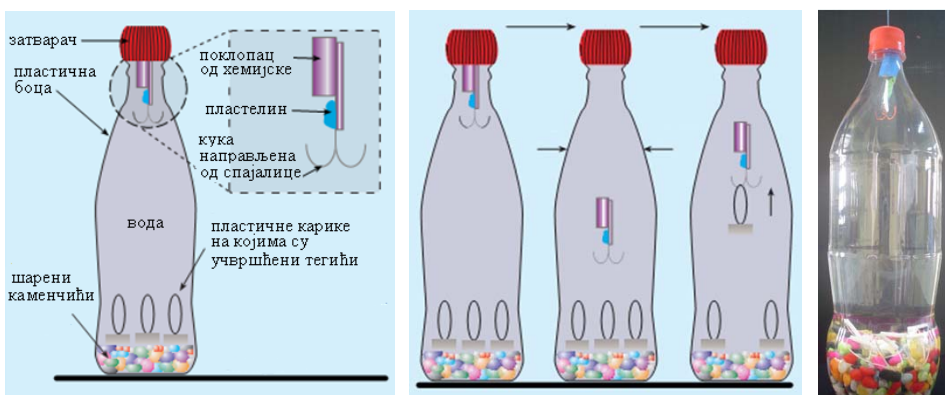
Температура се одређује према боји најнижег тега који не тоне, а новији облици уобичајено имају и окачене плочице на којима су означене вредности температуре у некој уобичајеној скали (на пример у степенима Целзијусове скале).

Рад лава лампе заснован је на описаној појави, а поред тога ту је значајан још и површински напон.



Слика 5.16. Галилејев термометар и лава лампа

Може се направити играчка чији принцип рада ће се заснивати на принципу рада Картезијанског гњурца, као што је показано на наредним сликама (слика 5.17).



Слика 5.17. Забавни Картезијански гњурац

Деци је интересно да се играју, али још интересније да направе сами играчку попут ове.

5.10. Куда иде плутани чеп?

АКЦЕЛЕРОСКОП

ПОЈМОВИ

сила, инерцијална сила, убрзање, потисак, густина, II Њутнов закон, Архимедов закон

ЦИЉ

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

Може се направити „акцелероскоп“ којим би се у неком возилу (аутомобилу, аутобусу, возу, или броду) могло одредити да ли возило мења интензитет и смер брзине или се брзина не мења. Стање мировања и равномерног праволинијског кретања не може се разликовати, али се зна када се брзина мења и у којем смеру се та промена дешава. Пошто ће чеп у тегли показивати убрзање (акцелерацију) може се назвати акцелероскопом.

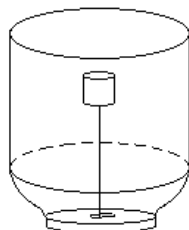
Принцип рада овакве апаратуре заснован је на дејству силе потиска.

ПОТРЕБАН МАТЕРИЈАЛ

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

ПРИПРЕМА И ИЗВОЂЕЊЕ ЕКСПЕРИМЕНТА

Пробушити плутани чеп дуж вертикалне осе, провући канап и на једном крају завезати чвор (или на други начин причврстити плутани чеп за канап). Други крај канапа лепљивом траком причврстити за унутрашњу страну поклопца. Напунити теглу водом, добро је затворити и окренути теглу тако да чеп лебди у води (слика 5.18). Посматрати чеп и нагло покренути теглу на неку страну. Чеп ће се кретати у истом смеру као и тегла. Приликом наглог заустављања тегле, чеп се креће у супротном смеру од смера кретања тегле – уназад. Уколико се окрећемо у круг око своје осе заједно са теглом, држећи је у висини очију, чеп ће се кретати ка нашем лицу, односно ка центру кружности.



Слика 5.18. Изглед акцелероскопа

ЗАПАЖАЊЕ

Када тегла мирује или се креће равномерно праволинијски, чеп у води се неће отклањати. Ако се мења интензитет брзине кретања тегле или њен правац (када скреће са праволинијске путање) чеп у води се отклања у смеру убрзања боце.

ОБЈАШЊЕЊЕ

На чеп који се налази у води делује сила потиска $\vec{F}_p$, на основу Архимедовог закона је:

$$\vec{F}_p = -V\rho_0\vec{g} \quad (5.10)$$

где је V - запремина чепа потопљеног у воду, ρ_0 - густина воде, $\vec{g}$ - убрзање Земљине теже.

На основу II Њутновог закона је:

$$\begin{aligned} \vec{F}_p &= m\vec{a}_p \\ \vec{F}_p &= V\rho\vec{a}_p \end{aligned} \quad (5.11)$$

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

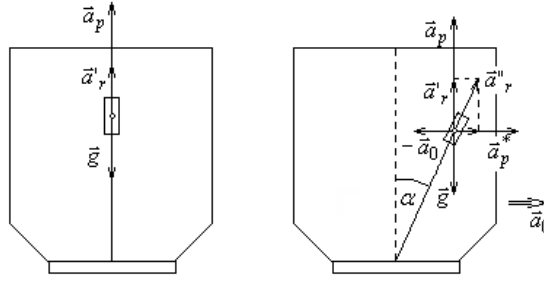
Могу се изједначити два записана израза за силу потиска (5.10) и (5.11):

$$-V\rho_0\vec{g} = V\rho\vec{a}_p$$

одакле је:

$$\vec{a}_p = -\frac{\rho_0}{\rho}\vec{g} \quad (5.12)$$

Ако чеп мирује (слика 5.19, 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 5.19. Инерцијални и неинерцијални систем

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

$$\vec{a}'_r = \vec{g} + \vec{a}_p = \vec{g}(1 - \frac{\rho_0}{\rho}) \quad (5.13)$$

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 5.19, десно), она ће имати неко убрзање $\vec{a}_0$ и представљаће неинерцијални систем. На сва тела у таквим системима референције, па тако и на воду, 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 (пored гравитације постоји и дејство псеудогравитације). Дакле:

$$\vec{F}_p^* = -V\rho_0(-\vec{a}_0) = V\rho\vec{a}_p^* \quad (5.14)$$

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

$$\vec{a}_p^* = \frac{\rho_0}{\rho} \vec{a}_0 \quad (5.15)$$

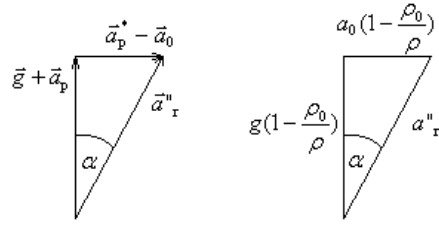
где је $\vec{a}_0$ - убрзање саопштено тегли.

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 псеудогравитација $(-\vec{a}_0)$ и сила потиска која је резултат њеног деловања и чепу саопштава убрзање $\vec{a}''_r$:

$$\vec{a}''_r = \vec{a}'_r - \vec{a}_0 + \vec{a}_p^* \quad (5.16)$$

и заклапа угао α са вертикалом (слика 5.19, десно).

На слици 5.19, десно, може се уочити правоугли троугао:



Слика 5.20. Резултујуће убрзање

Пошто је на основу (5.15):

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

и за чеп је $\rho_0 > \rho$, смер укупног убрзања, које чепу саопштавају сила псеудотеже и сила псеудопотиска, је исти као и смер убрзања тегле. Даље се може написати да је:

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

где минус говори само о смеру и уколико се не говори о векторима може се изоставити (слика 5.20, десно).

На основу слике могу се написати релације:

$$\frac{g\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)}{a_r''} = \cos \alpha$$

и

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_0\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)}{g\left(1 - \frac{\rho_0}{\rho}\right)} = \frac{a_0}{g}$$

односно:

$$a_0 = g \operatorname{tg} \alpha \quad (5.17)$$

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

Случај када тегла има неко убрзање може се урадити и тако што ће се одмах одредити укупна гравитација (збирни ефекат праве гравитације, која потиче од силе теже, и псеудогравитације):

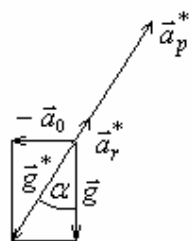
$$\vec{g}^* = \vec{g} - \vec{a}_0 \quad (5.18)$$

па је убрзање услед силе потиска која потиче од те укупне гравитације:

$$\vec{a}_p^* = -\frac{\rho_0}{\rho} \vec{g}^* = -\frac{\rho_0}{\rho} (\vec{g} - \vec{a}_0) \quad (5.19)$$

и онда је резултујуће убрзање:

$$\vec{a}_r^* = \vec{a}_p^* + \vec{g}^* \quad (5.20)$$



Слика 5.21. Резултујуће убрзање

Ово разматрање је такође коректно и даје исти резултат:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_0}{g}.$$

6. Закључак

Овај рад би требало да илуструје како се на занимљив начин са ученицима може обрадити Архимедов закон.

Дат је предлог на који начин се могу увести нови појмови и развијати како нови, тако и раније усвојени појмови. Наведени су разни примери и огледи помоћу којих се може демонстрирати појава силе потиска, а који, такође, доприносе и повишеном степену заинтересованости ученика.

Циљ рада је да се укаже на то да се појмови не могу „дати“ – „предати“ већ само формирати. Идеја је да се Архимедов закон обради како са теоријског, тако и са експерименталног аспекта. Часови обогаћени једноставним огледима у великој мери олакшавају увођење основних појмова из области теме која се обрађује, а такође омогућују увођење научног метода у свакодневну школску праксу.

Сваки наставни процес има два основна циља: образовни (који се огледа у стицању знања и вештина на основу којих се формира поглед на свет и која представљају основу за неку практичну делатност) и васпитни (којим се развијају особине неопходне сваком члану друштвене заједнице у којој живи – одређена правила понашања). То су циљеви који би морали да се остварују на сваком наставном часу. За остварење наведених циљева неопходно је да настава физике буде комплексна, да свака тема буде равноправно обрађена са свих аспеката, како теоријског тако и експерименталног уз укључивање различитих метода и облика рада.

7. Литература

1. М. Распоповић, Д. Ивановић, Ј. Томић, Д. Крпић, Б. Никић, Физика за VI разред основне школе, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1997
2. Ј. Шетрајчић, Д. Капор, Физика за VII разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2008
3. Б. Жижић, Курс опште физике – физичка механика, Београд, 1975
4. Ф. В. Сирс, Механика, таласно кретање и топлота, Научна књига, Београд, 1962
5. Д. Обадовић, Једноставни експерименти у настави физике, скрипта, Природно–математички факултет, Нови Сад, 2007
6. Д. Обадовић, М. Стојановић, М. Павков-Хрвојевић: Једноставни огледи у физици за VI разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2007
7. Д. Обадовић, М. Стојановић, М. Павков-Хрвојевић: Једноставни огледи у физици за VII разред основне школе, Завод за уџбенике, Београд, 2007
8. Љ. Ристовски, Да ли би Архимед успео да помери Земљу?, Млади физичар 01/02-84 “С”, Друштво физичара Србије
9. С. Божин, Тона дрвета и тона гвожђа, Млади физичар 02/03-88 “С”, Друштво физичара Србије
10. М. Распоповић, Методика наставе физике, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1992
11. Т. Петровић, Дидактика физике – теорија наставе физике, Београд, 1993
12. М. Млађеновић, М. Јакшић, Историја класичне физике за ученике средњих школа, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1993
13. С. Марић, На изворима физике, Матица српска
14. Ј. Томић, Д. Илић, Физика свуда око нас, 3 И 3, Београд
15. Стрипски јунаци спасавају свет, Политикин Забавник, број 2972, 23.1.2009., Политика, Београд
16. Интернет сајтови:
 - <http://www.wikipedia.org/>
 - <http://www.math.nyu.edu/~crottes/Archimedes/contents.html>
 - <http://www.planet-science.com/under11s/index.html?page=/under11s/levers/index.html>
 - <http://kobson.nb.rs/Kobson/page/>

Кратка биографија кандидата



Ивана Ранчић, рођена 17.08.1985. године у Суботици. Завршила основну школу „Мирослав Антић“ на Палићу и гимназију „Светозар Марковић“ у Суботици. 2004. године уписала Природно–математички факултет у Новом Саду, смер професор физике, 2008. године уписала мастер студије.

УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПРИРОДНО-МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број:

РБР

Идентификациони број:

ИБР

Тип документације:

Монографска документација

ТД

Тип записа:

Текстуални штампани материјал

ТЗ

Врста рада:

Завршни рад

ВР

Аутор:

Ивана Ранчић

АУ

Ментор:

др Душанка Обадовић, редовни проф.

МН

Наслов рада:

Формирање и развој појмова у обради Архимедовог закона у основном образовању

НР

Језик публикације:

српски (ћирилица)

ЈП

Језик извода:

српски/енглески

ЈИ

Земља публикација:

Република Србија

ЗП

Уже географско подручје:

Војводина

УГП

Година:

2009

ГО

Издавач:

Ауторски репринт

ИЗ

Место и адреса:

Природно-математички факултет, Трг Доситеја Обрадовића 4, Нови Сад

МА

Физички опис рада:

7/47/16/1/38/0/0

ФО

Научна област:

Физика

НО

Научна дисциплина:

Демонстрациони експерименти у настави

НД

Предметна одредница/кључне речи:

Појам, једноставни експерименти, сила потиска, Архимедов закон, пливање, тоњење, лебдење

ПО

УДК

Чува се:

Библиотека департмана за физику, ПМФ-а у Новом Саду

ЧУ

Важна напомена:

нема

ВН

Извод:

У овом раду приказана је идеја како се могу формирати и развијати појмови приликом обраде Архимедовог закона у настави. У циљу бољег разумевања појмова у вези са Архимедовим законом, поред теоријског објашњења, питања и примера, приказана је имплементација једноставних огледа у процес образовања.

ИЗ

Датум прихватања теме од НН

већа:

01.06.2009.

ДП

Датум одбране:

26.06.2009.

ДО

Чланови комисије:

КО

Председник:

др Дарко Капор, редовни проф.

члан:

др Срђан Ракић, редовни проф.

члан:

др Душанка Обадовић, редовни проф.

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF SCIENCE AND MATHEMATICS

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:

ANO

Identification number:

INO

Document type:

Monograph publication

DT

Type of record:

Textual printed material

TR

Content code:

Final paper

CC

Author:

Ivana Rančić

AU

Mentor/comentor:

Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.

MN

Title:

Formation and development of the concepts of Archimedes' law in the teaching process in elementary education

TI

Language of text:

Serbian (Cyrillic)

LT

Language of abstract:

English

LA

Country of publication:

Republic of Serbia

CP

Locality of publication:

Vojvodina

LP

Publication year:

2009

PY

Publisher:

Author's reprint

PU

Publication place:

Faculty of Science and Mathematics, Trg Dositeja Obradovića 4, Novi Sad

PP

Physical description:

7/47/16/1/38/0/0

PD

Scientific field:

Physics

SF

Scientific discipline:

Demonstrative experiments in teaching

SD

Subject/ Key words:

concept, "Hands on" experiments, buoyancy, Archimedes' law, floating, sinking, hovering

SKW

UC

Holding data:

Library of Department of Physics, Trg Dositeja Obradovića 4

HD

Note:

none

N

Abstract:

AB

Suggestion for formation and development of the concepts of Archimedes' law in the teaching process is given in this work. In order to understand better concepts of Archimedes' law besides theoretical explanation, questions and examples, the implementation of simple experiments ("Hands on") into the educational process is shown.

Accepted by the Scientific Board:

01.06.2009.

ASB

Defended on:

26.06.2009.

DE

Thesis defend board:

DB

President:

Ph.D. Darko Kapor, full prof.

Member:

Ph.D. Srđan Rakić, full prof.

Member:

Ph.D. Dušanka Obadović, full prof.