Настава физике, број 8, 2019, стр 121 - 128

Из часописа и уџбеника у школски простор

Сања Булат[1], Милена Давидовић[2], Миленија Јоксимовић[3], Татјана Марковић-Топаловић[4], Мирјана Поповић-Божић[5] и Биљана Стојичић[6]

[1]ОШ Бранислав Нушић, Београд; [2]Грађевински факултет, Универзитет у Београду; [3]Хемијско прехрамбена технолошка школа, Београд; [4]Медицинска школа, Шабац; [5]Институт за физику, Универзитет у Београду; [6]Земунска гимназија, Београд

Апстракт. Радиће се експерименти и демонстрације на апаратурама конструисаним по угледу на апаратуре које је Галилеј користио при проучавању кретања пројектила у гравитационом пољу. Приказаће се примена сазнања из ових експеримената у Торичелијевом теоријском предвиђању облика и домета млазева из посуде напуњене течношћу. Демонстрираће се слагање са том теоријом. Биће изведени експерименти са чиодом у магнетном пољу потковичастог магнета. Помоћу цилиндричних сочива демонстрираће се интригантне појаве које су последица одбијања, преламања и тоталне рефлексије светлости. Биће приказан поступак за добијање "холограма" помоћу пирамиде од провидног материјала постављене на екран паметног телефона.

Кључне речи: Галилејеви експерименти, Торичелијево предвиђање, потковичасти магнет, цилиндрична сочива, холограм.

ГАЛИЛЕЈЕВЕ АПАРАТУРЕ ЗА ПРОУЧАВАЊЕ КРЕТАЊА У ГРАВИТАЦИОНОМ ПОЉУ

Савремени захтеви који се постављају пред наставу физике су довели до тога да се у настави о кретању све више користе експерименталне апаратуре конструисане по угледу [1-5] на оне које је Галилеј користио у својим експериментима [6,7]. Закључено је да су оригинални Галилејеви експерименти идеални за наставу засновану на истраживачком методу. Спроводећи такве експерименте са ученицима средње школе, Borghi и коаутори су закључили [2] да су неке од тешкоћа ученика у разумевању објашњења тих експеримената у ствари тешкоће које је имао сам Галилеј и које су биле круцијалне у развоју кинематике.

Стрма раван са звончићима и клатном

Посебна занимљивост везана за Галилејев рад се односи на начине мерења времена које је он користио. Чувени проблем кретања тела са сталним убрзањем, чије законитости је успео експериментално да утврди, никако не би био решен да он није био човек оригиналних идеја, када је реч о мерењу времена. Остало је забележено да је мерио временске интервале помоћу пулса, посуда из којих истиче вода и клатна. Познато је да је био изузетно музикалан човек, који је имао и музичко образовање, па је природно имао осећај за дужину временског интервала. Један од важних закључака до којих је дошао Галилеј у вези са поменутим типом кретања, је да путеви које тело прелази у једнаким временским интервалима стоје у међусобном односу као низ узастопних непарних бројева, где је јединица пут који пређе у првом временском интервалу од почетка кретања [6-8]. Начин да се то прикаже је и модел Галилејеве стрме равни на којој су постављени звончићи на крајевима путева које тело прелази у једнаким временским интервалима [6]. Временски интервал се мериті клатном. Таква стрма раван је у оквиру ПОКО пројекта реализована у Земунској гимназији 2014. године (слика 1).

СЛИКА 14. Галилејева стрма раван са звончићима и клатном реализована у Земунској гимназији 2014.

Стрма раван са хоризонталним наставком за проучавање кретања пројектила

Посебано значајан део Галилејевих радова се односи на кретање пројектила [1-5]. Данас у настави користимо термине: коси хитац и хоризинтални хитац. Искуство наставника је да та тема није ни мало лака ученицима и да они наилазе на проблеме у процесу разумевања, пре свега сложеног кретања. Једно од могућих решења овог проблема може се наћи у раду Borghi и сарадника [2], у коме су предложени једноставни огледи са стрмом равни која има хоризонтални наставак. Два су основна огледа. Један, у коме се пореди кретање куглице која по силаску са стрме равни наставља да се креће по хоризонталној подлози и куглице која се по силаску са стрме равни креће по параболи (хоризонтални хитац). Други, у коме се пореди кретање куглице која слободно пада са висине изједначене са подножјем стрме равни и куглице која се креће по параболи када напусти стрму раван (хоризонтални хитац). Практично, са овако постављена два огледа могуће је приказати на веома очигледан начин обе компонете сложеног кретања, равномерно у хоризонталном правцу и равномерно убрзано у вертикалном правцу.

Време кретања дуж тетива обруча у вертикалној равни у гравитационом пољу

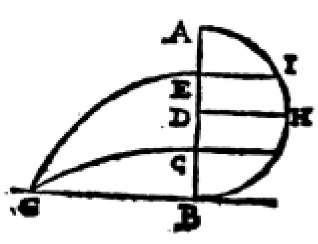
Следећи пример показује на који начин је могуће демонстрирати решење проблема кретања тела по тетивама вертикалне кружнице. Кроз метални обруч, на коме се налазе рупице, провуку се нити тако да крајеви свих нити пролазе кроз један од отворна врху, док се други крајеви нити лепезасто шире и заузимају положаје тетива кружнице, која се поклапа са обручом. На свакој нити се налази по једна перла (куглица), идентичних карактеристика. Ако се све куглице пусте да падају из заједничког почетка истовремено, лако се уочава да оне истовремено падају на обруч. Галилеј тај проблем разматра у Теореми VI у свом чувеном делу које је на српском језику објављено под насловом "Расправе и математички докази о две нове науке... "[7].

ОБЛИК И ДОМЕТ МЛАЗЕВА ИЗ ТОРИЧЕЛИЈЕВЕ ФОНТАНЕ

Илустрације млазева из три отвора на посуди, у којој се ниво воде одржава константним, се налазе у многим уџбеницима физике, у одељку о притиску у течностима. Чешће се срећу схеме млазева које нису у сагласности са експериментом, него схеме, као што је Торичелијева схема (слика 2), која је у сагласности са експериментом [9]. Торичели је био Галилејев асистент током неколико последњих месеци Галилејевог живота, и наследио је Галилејеву катедру на Универзитету у Пизи. Две године после Галилејеве смрти, Торичели је објавио дело Opera Geometrica [10] у коме је описао експеримент на основу кога је формулисао закон који данас носи његово име: брзина млаза из неке тачке је једнака брзини коју би појединачна капљица течности имала када би падала у вакууму са површине течности изнад отвора. Користећи ознаке на слици 2, овај закон се данас пише у облику

$$v_{x0} = \sqrt{2g\overline{AE}} \tag{1}$$

где је g убрзање Земљине теже. Користећи ово сазнање и позивајући се на Галилејеву теорију о кретању пројектила, Торичели је закључио (а да није детаљно изложио доказ) да је: домет млаза $\overline{GB}$ из отвора E једнак $2\overline{EI}$, где је $\overline{EI}$ половина тетиве кружнице на слици. Из ове тврдње следи да највећи домет има средњи млаз.

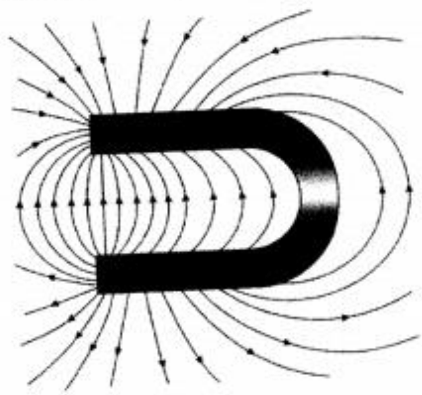


СЛИКА 2. Торичелијева илустрација млазева из отвора E и C на зиду посуде која је представљена помоћу дужи $\overline{AB}$. Посуда је испуњена течношћу до нивоа A.

Ова Торичелијева тврдња се данас доказује у неколико корака, користећи геометрију кружнице и једначине кретања капљице у гравитационом пољу [2,9]. То ће бити један од задатака за учеснике радионице, као и експериментална провера Торичелијевог закона и предвиђања облика млазева. Али, остаје да се истраже Галилејеви и Торичелијеви публиковани и непубликовани радови, да би се сазнали сви детаљи Торичелијеве аргументације.

КРЕТАЊЕ ЧИОДЕ У МАГНЕТНОМ ПОЉУ ПОТКОВИЧАСТОГ МАГНЕТА

Без обзира на напредак у технологији израде магнета, стари потковичасти магнет може бити веома користан за показивање и разумевање магнетних ефеката, пре свега магнетне силе. Кроз занимљиве експерименте ће бити показано како магнетно поље делује на феромагнетик. Важно је подсетити се конфигурације линија силе магнетног поља потковичастог магнета (слика 3).



СЛИКА 3. Линије сила магнетног поља потковичастог магнета [11].

Када се гвоздена игла постави вертикално у средишњи део магнетног поља потковичастог магнета, опажа се да игла почиње да клизи по површини према крају магнета, задржавајући вертикални положај. Игла се зауставља у равнотежном положају, у близини магнетних полова. Из чињенице да је игла из стања мировања почела да се креће, закључујемо да на иглу делуја сила. Зашто се јавља та сила, како игла остаје у вертикалном положају?! Игла је направљена од гвожђа, које је феромагнетик. Због тога, игла у магнетном пољу постаје магнетни дипол, те се јавља сила на тај индуковани магнетни момент. Аутори овог експеримента су показали [11] да је укупна магнетна сила која делује на дипол сразмерна индукованом магнетном моменту и магнетној индукцији B а обрнуто сразмерна полупречнику кривине r линије магнетног поља у центру дипола (игле). Индуковани момент је сразмеран магнетној индукцији B, тако да је хоризонтална компонента магнетне силе на иглу дата изразом

$$F_M = c\frac{B^2}{r} \tag{2}$$

где је c константа сразмерности а r је полупречник кривине. Сила је једнака нули тамо где $r \to \propto$. То је равнотежни положај игле.

ОПТИЧКЕ ДЕМОНСТРАЦИЈЕ ПОМОЋУ ЦИЛИНДРИЧНИХ СОЧИВА

Док у оквиру геометријске оптике ученици разматрају формирање ликова помоћу танких сочива, у свакодневном животу се појављују занимљива искуства са цилиндричним сочивима, која треба разјаснити. Као цилиндрична сочива се користе провидни цилиндри од стакла или пластике, али, то могу бити чаше, тегле и флаше испуњене водом [12]. Узевши у обзир да је теоријско објашњење дебелог сочива компликованије од теорије танких сочива, може се апроксимативно узети да је жижна даљина цилиндра испуњеног водом приближно једнака двоструком полупречнику цилиндра ($f = 2R$, важи за параксијалне зраке, индекс преламања воде је $n = 1{,}33$ и стаклени зид чаше је занемарен). Ово се може проверити једноставним поступком: на чашу са водом се усмери паралелан сноп светлости, па се померањем заклона нађе вертикална линија светлости - жижа (на удаљености R од површине чаше). Такође, лепо и лако се показује добијање лика помоћу цилиндричног сочива, тако што се иза чаше са водом вертикално постави двобојни лењир, па се померањем лењира (ка жижи и од жиже) добијају ликови. Могу се видети ликови: 1) умањен, изврнут, реалан; 2) увећан, изврнут, реалан; 3) увећан, усправан, имагинаран.

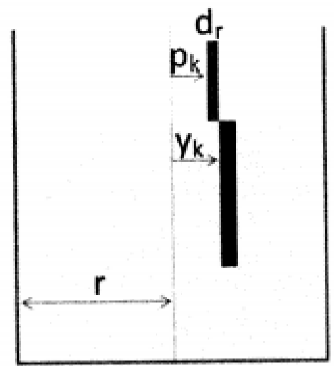
Посебну пажњу треба усмерити на формирање ликова када се предмет налази у цилиндричном сочиву (чаши или тегли испуњеној водом). Када се танак вертикални штап који је делимично уроњен у воду унутар прозирног цилиндричног суда (тегле) постави у центар цилиндра, бочни посматрач види шипку као комплетан објекат. Ако се штап помера од центра, његова слика постаје необична, тј. део који се види кроз ваздух и део који се види кроз воду се раздваја, па на некој удаљености од центра доњи део штапа постаје невидљив. На основу закона одбијања и преламања светлости, може се закључити да је ова појава последица преламања светлости која се шири од штапа до ока посматрача. Како се штап помера од центра ка периферији суда (сочива), његова "дубина се смањује" због закривљености површине течности, па се слика помера према посматрачу [12,13].

Иако једноставне за демонстрацију, квантитативан опис горе описаних појава је релативно сложен, али се заснива на средњошколском градиву из геометријске оптике, математике и програмирања. Дакле, погодан је за рад са ученицима заинтересованим за математику и физику, као и за матурске радове.

Аутори рада [13] су одредили формулу за положај лика у функцији односа стварног положаја штапа и полупречника посуде. Такође су нашли растојање после кога се штап више не види. То је оно растојање за које се преломљени зрак (који долази до ока посматрача) налази у правцу тангенте на површину суда. Аутори су такође показали да је у близини центра суда растојање лика yL од центра (дуж y-осе нормалне на правац од центра суда ка посматрачу) одређено једноставном релацијом: $yL \sim = np$, где је n индекс преламања течности а p је растојање штапа од центра. Применом ове апроксимације може се измерити индекс преламања течности како је предложио Глук [14]. Препуштамо учесницима радионице да покажу, користећи поменуту апроксимацију, да је индекс преламања одређен формулом

$$n = \frac{p_k + d_r}{p_k} \qquad (3)$$

где је значење величина у овој формули приказано на слици 4.



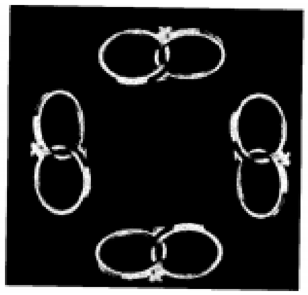
СЛИКА 4. Схема експеримента за одређивање индекса преламања течности [13,14].

Такође, може се показати (помоћу двобојног лењира делимично уроњеног у теглу са водом) како положај и величина слике зависе од положаја предмета у односу на дијаметралну раван сочива [12]. Предмет који је испред дијаметралне равни има слику која је померена испред, а предмет који је иза дијаметралне равни има слику која је померена уназад, тако да се може закључити да су ликови уроњених предмета увећани и усправни. Дивергентно сочиво се добија када се у теглу са водом постави стаклена чаша (у коју се постави предмет и анализира његова слика). Ефекат "равне слике" је једноставан и занимљив експеримент који се изводи тако што се на зид чаше залепи слика и посматра са супротне стране (кроз празну чашу), потом се чаша напуни водом и посматра слика – постаје равна и увећана у хоризонталном правцу.

ХОЛОГРАМ ИЛИ "ХОЛОГРАМ"

Како се односити према садржајима који су доступни путем интернета, пре свих ученицима, а да су при томе визуелно и садржајно веома допадљиви али истовремено без правог физичког објашњења, питање је које се често поставља пред наставнике физике. Један такав пример је опис "холограма" који се може, према упутству аутора са различитих Yuo Tube канала, добити помоћу мобилног телефона који емитује одговарајући филм и тзв. холограмског пројектора - четворостране зарубљене пирамиде од провидног материјала (стакла, пластике, фолије) [15-18]. Прво питање које се намеће је, да ли је уопште реч о холограму?

Филм који се емитује путем мобилног телефона се састоји од четири идентична филма који су монтирани у један. Постоји обиље филмова на разним Yuo Tube каналима различитих садржаја припремљених за овај вид пројекције. Објекти су увек динамички, што се показује да није без значаја.



СЛИКА 5. Једна секвенца у филму који се емитује на мобилном телефону.

Поступак за добијање жељене слике је: да се на екрану мобилног телефона, на коме је постављена *пирамида*, емитује поменути филм. Зарубљени врх пирамиде се постави у средиште филмске слике као што је ова на слици 5. Та четири идентична филма се пројектују на четири стране пирамиде, а посматрач који се помера стиче илузију да је тродимензионални предмет негде у средишту пирамиде. Тродименизионални предмет се најбоље види ако је правац гледања паралелан са екраном мобилног телефона. Учесници радионице ће имати прилику да виде овако добијен холограм користећи пирамиду коју је направила ученица Земунске гимназије.

Холографија је метод стварања и реконструкције тродимензионалних слика применом кохерентне светлости. Код обичне фотографије видљиве су само тачке на предмету које су директно осветљене. Ако би била снимљена обична фотографија и холограм истог предмета, више информација о предмету би имали на холограму. Када се мења угао посматрања холограма могуће је видети и тачке на објекту које првобитно нису биле видљиве на обичној фотографији. У случају "холограма" добијеног помоћу холограмског пројектора и одговарајућег филма, видљива је увек иста дводимензионална слика предмета без обзира на угао под којим се посматра слика.

Иако пример који је наведен није пример правог холограма, може послужити у настави као одлична основа за дискусију о холографији, што је примерено средњошколском узрасту ученика. Код ученика основне школе физичко тумачење појаве се не може у потпуности остварити, али се може инсистирати на правилном називу и искористити атрактивност појаве. Пример добре праксе из ОШ "Бранислав Нушић" охрабрује да се настави са применом у настави. Ученици ове школе су кроз два пројекта користили овај пример. То су били STEM Discovery Week, и час реализован кроз интегративни приступ настави под називом Холограм. Интегративност је остварена кроз повезивање садржаја математике (анализа трапеза), биологије (медузе које се крећу, модели молекула), географије (географски пресеци), информатике (анализа валидних информација на интернету) и техничког образовања (прављење "холограмског пројектора").

ЛИТЕРАТУРА

1. Drake,S. (1973), Galileo's Discovery of the Law of Free Fall, Scientific American, 228, 84-93
2. Borghi, L., DeAmbrosis, A., Lamberti, N. and Mascheretti, P. (2005), A teaching-learning sequence on free fall motion, Phys. Ed. 40, 266-273
3. Galileo's work on projectile motion, http://galileo.rice.edu/lib/student_work/experiment95/paraintr.html
4. Galileo's Acceleration Experiment, http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/lectures/gal_accn96.htm
5. Drake, S. and MacLachlan, J. (1975), Galileo's Discovery of the Parabolic Trajectory, Scientific American, 232, 102-110
6. https://www.museogalileo.it/it/museo/impara/online/56-video-didattici-di-storia-della-scienza/515-meccanicagalileo-it.html
7. Галилеј, Г., Расправе и математички докази: о две нове науке које се баве механиком и локалним кретањима, Сремски Карловци-Нови Сад: Издавачка књижница Зорана Стојановића, 2013, стр. 151-234 (Galileo Galilei, Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica e i movimenti locali, 1638)
8. Dauben, J., Galileo and the Mathematics of motion, Part I, The inclined plane experiment, http://www.mcm.edu/academic/galileo/ars/arshtml/mathofmotion1.html
9. Davidović, M., Marković-Topalović, T., Sliško, J. and Božić, M. Visualizing properties of a quadratic function using Torricelli's fountain, to be published in Physics Teacher
10. E.Torricelli, "De motvaqvarvm" in Opera Geometrica, Libri Dvo (Amatoris Maffe&Laurentij de Landis, Florentiae Typis, 1644) pp. 191-203 http://archive.org/stream/operageometrica00torrgoog#page/n212/mode/2up
11. Babović, M., and Babović, V. (2017), A few simple classroom experiments with a permanent U-shaped magnet, Phys. Educ. 52, 015021 (9pp)
12. Ivanov, D. and Stefan Nikolov, S. (2015), Optics demonstrations using cylindrical lenses, Phys. Educ. 50 (5) 548-559
13. Davidović, M., Božić, M., Sliško. J., Gajić, R. and Dragović, M. (2014), Image positions of a vertical rod in a liquid-filled cylindrical container, Eur. J. Phys. 35, 025011 (14pp)
14. Gluck, P. (2011), A simple method to measure the refractive index of a liquid, Phys. Educ. 46, 253
15. https://www.youtube.com/watch?v=Y60mfBvXCj8&t=349s
16. https://www.youtube.com/results?search_query=hologram+video
17. https://www.youtube.com/watch?v=7YWTtCsvgvg
18. https://www.youtube.com/watch?v=Ttv1Lo1Ld2o