

Универзитет у Београду

Физички факултет

Татјана М. Марковић - Топаловић

**Едукациона визуелизација физичких феномена  
у парку науке и школском простору**

докторска дисертација

Београд, 2021.

University of Belgrade

Faculty of Physics

Tatjana M. Marković - Topalović

**Educational visualization of physical phenomena  
in the science park and school space**

doctoral dissertation

Belgrade, 2021.

**Информације о менторима:**

Проф. др Андријана Жекић, (2017 – 2022)

Проф. др Мирјана Поповић Божић, (2010 – 2015),

Проф. др Јосип Слишко (2015 – 2017).

**Чланови комисије за одбрану докторске дисертације:**

Проф. др Јаблан Дојчиловић, Физички факултет у Београду

Проф. др Мићо Митровић, Физички факултет у Београду

Доц. др Милена Давидовић, Грађевински факултет у Београду

Проф. др Братислав Обрадовић, Физички факултет у Београду

Проф. др Стеван Стојадиновић, Физички факултет у Београду

**Датум одбране 3. 6. 2022. године**

## Апстракт

Током последњих деценија, значајан број физичара, астронома, географа, педагога, филозофа и архитеката истакли су потребу да се настава и учење физике и других природних наука одвијају у ширем простору, од учионице и лабораторије. Један сегмент овог рада указује на потребу да студенти добију прилику да понове искуства и резоновања научника, која су водила како до правилних, тако и она, која су водила до погрешних решења. У тези је истакнуто да су наставнику потребни ходник, двориште, кров, фасада, тераса да би се уградили уређаји и елементи који омогућују пресликавање, демонстрацију и проучавање физичких појава. Теза даје смернице и решења професорима и студентима како могу да реализују поменуте ситуације коришћењем ширег простора од учионице и лабораторије за физику. У истраживањима везаним за тему докторске дисертације проучаван је скуп конкретних спознајних инсталација погодних за ширење физичке лабораторије у комплекснији школски простор. Парк науке у Шапцу представља простор у којем је аутор тезе заједно са стручним тимом предложио, изградио, осмислио инсталације које су база едукационе визуелизације. Један сегмент тезе се бави усавршавањем оних учила која су раније већ предложена у литератури. Описан је и пут изградње инсталација и њиховог постављања у парку науке у Шапцу. Приказана је корисност Торичелијеве фонтане (која је изграђена у Шапцу) у учењу и примени у физици и математици и могућности примене квадратне функције и корена квадратне једначине. Њена употребљивост се заснива на визуелизацији математичких могућности облика индивидуалних водених млазева и групе млазева из суда напуњеног водом са бочним отворима. Рад сугерише да би наставници и аутори уџбеника требало да користе фонтану да би показали везу између физике и математике и да искористе ову везу у интегрисаном учењу две наведене науке. Један део рада је посвећен и грешкама у разматрању Торичелијеве фонтане у уџбеницима физике. Поред Торичелијеве фонтане анализиран је и Паралелни Глобус (Дан Ноћ и Година Глобус - ДИНГ). Овај Глобус је такође као саставни део докторског рада, осмишљен и исталиран у парку науке у Шапцу. ДИНГ је идеалан објекат за едукациону визуелизацију знања о облику Земље, Земљиној ротацији око Сунца, дужини годишњих солстиција, еквиноција, локалног меридијана, дистрибуцију Сунчевог зрачења на Земљи, утицају овог зрачења на климу Земље, и како то зрачење користити ефикасно. ДИНГ је вишеструко користан за предавање физике, геофизике, астрономије и у развијању искуствено проблемског учења у подстицајној околини за ученика и јавност. У оквиру докторског рада изграђен је још један значајан број инсталација које едукационом визуелизацијом, пружају ученицима спознају о истраживачком путу научника и правилном резоновању кроз критичко мишљење. Са развојем информационо-комуникационих технологија едукациона визуелизација је постала посебна област научних истраживања са више нових праваца изучавања и развоја. У том контексту, теза истиче и анализира веома корисно повезивање визуелизације у реалном и виртуелном простору, а све у сврху наставе и учења. Такође, у раду и у складу са савременим тренутком описана је имплементација паметних телефона у посматрањима и мерењима како у физичкој лабораторији тако и у широј околини. У тези је такође урађено истраживање мисконцепције ученичких знања и промена њихових научних знања и ставова приликом рада у учионици на отвореном. Анализиран је едукативни утицај визуелно богате околине на наставу, успех, учење и популаризацију науке. На крају, представљена је тренутна позиција физике у образовању, стратегија развоја паркова науке и школских лабораторија на отвореном, као и мерљив утицај које могу направити у образовним програмима са циљем повећања интересовања ученика за бављење физиком и природним наукама.

Кључне речи: Едукациона визуелизација на отвореном, Торичелијева фонтана, Глобус, мерење ученичких знања, имплементација паметних телефона у наставу.

## Abstract

During last decades, considerable number of physicists, astronomers, geographers, pedagogues, psiholophers and architects have stressed the need that the physics and science teaching should be carried out in a broader space than the usual-classrooms and labaratories. One segment of this work indicates the necessity of providing students the opportunity to recreate experience and reasoning of scientists which led them to both, correct and incorrect solutions. In a thesis it is pointed out that a teacher needs a hall, a school yard, a roof, a facade, a terrace to install devices and elements for enabling mapping, demonstrations and studying physical phenomena. This thesis gives guidelines and keys to professors and students to realize mentioned situations by using broader space than a usual classroom and labratory for physics. In research related to the PhD reserach a group of concrete/authentic cognitive installations convinient for extending physics labaratory into more complex school space.

Šabac Science Park is an example of space where the thesis author, with the expert team, suggested conteptualised installations based on educational visualization. One segment of thesis is devoted to advancing of teaching aids which were recommended earlier in the literature. The endeavour of the installations construction and its assembling in Šabac Science Park was described.

The usefulness of Torriceli's fountain in teaching applicability in physics of mathematical properties of the quadratic function and of the roots of the quadratic equation is demonstrated. The usefulness is based on the visualization of mathematical properties of the forms of individual water jets and of the sets of jets from the water tank with holes. Physics teachers and textbooks writers should use this fountain to show the interplay of physics and mathematics and to exploit this interplay in integrating physics and mathematics teaching and learning.

Besides Torichelli's fountain The Parallel Globe (Day Night Year Globe - DING) was built. Having the same orientation in space as the Earth, DING shows in real time the pattern of illumination of the Earth's surface and its diurnal and seasonal variations. It is an ideal object for visualization of knowledge and rise of knowledge about the form of the Earth, Erath's rotation around the Sun, the lenght of seasons solstices, equinoxes, the longitude problem, the distribution of Sun's radiation over the Earth, the impact of these radiation on Earth's climate, and how to use it efficiently. DING is simultaneously useful for teaching physics, geophysics, astronomy usage of solar energy and for experiencing inquiry learning environment by students and public.

As a part of the PhD research, more than twenty installations were constructed. The installations provide to students the insight on research route of scientists and their correct reasoning through analytic thinking.

Following the progress of communication technology, educational visusalisation has become a special field of scientific research branching into new ways of studies and development. Furthermore this work stresses and analyses very beneficial correlation of visualisation in real and virtual space aiming at efficient teaching and learning corresponding to actual trends to implement smartphones in observation and measuring in the physics laboratory as well as in the open space. The thesis also comprises the research of misconceptions in students' knowledge and the change of their science knowledge and attitudes in classes in outdoors classrooms.

Educational influence of visually enriched environment on teaching and learning progress, and popularisation of science has been analysed. Finally, current status of physics in educational system was presented. Strategy of developing science parks and outdoors school labaratories, and measurable impact they may have in curriculum aimed at motivating students to get more interested in styding physics and science in general, are present, as well.

**Key words:** Education visualization in oudoors, Torichelli's fountain, Parallel Globe, evaluating students' knowledge, smartphone implementation in teaching process.

## ЗАХВАЛНИЦА

Захваљујем се професорки др Мирјани Поповић - Божић, на подршци, сарадњи, упорности и одлучности приликом писања моје докторске тезе. Професорка Поповић – Божић је од почетка била мој ментор, сарадник на изради овог докторског рада. Професорка Андријана Жекић је постала мој ментор крајем 2017. године. Посебну захвалност дугујем др Милени Давидовић, професору др Јосипу Слишку, и проф. др Јаблану Дојчиловићу за корисне савете, подршку, усмерења током истраживања и писања. Такође се захваљујем мојим колегама из основних школа „Николај Велимировић, „Вук Караџић“ и Медицинске школе „др Андра Јовановић“ у Шапцу, који су својим сугестијама и тестирањима ученичких знања, помогли да овај докторски рад уобличим. На последњем месту, али не мање важном сматрам подршку моје породице, мог супруга, Радмила и мојих ћерки Наталије и Бојане који су увек били корисна и драгоценна саветодавна „служба“. Свима се топло захваљујем у нади да ће ова теза променити визуру посматрања и перцепције квалитета наставе физике у мојој земљи.

## Садржај

1. Општи увод .....	4
2. Научна и едукациона визуелизација.....	5
3. Настанак и развој паркова науке.....	8
3.1. Паркови науке у Индији .....	9
3.2. Врт науке, Вајцманов научни институт у Реховоту, Израел (The Clore Garden of Science – Weizmann Institute of Science in Rehovot, Israel) .....	9
3.3. Парк науке Сај Тех, Уради сам Музеј, јужни врх острва Столп на Исланду, САД (SciTech Hands On Museum, southern tip of Stolp Island, USA) .....	10
3.4. Финска - Галилејев научни парк .....	11
3.5. Парк открића - Херстмонсу, Источни Сасекс (Herstmonceux, East Susexx) .....	12
3.6. Парк науке у Монтшир Музеј, Норвич, Вермонт (Montshire Museum, Norwich, Vermont).....	12
3.7. Врт открића, Научни музеј, Вирџинија, Ричмонд. (Discovery Garden, Science Museum, Virginia (SMV), Richmond) .....	13
3.8. Дечија снага, Научно игралиште у Њујорку, Хол науке, Квинс (Kidpower! Science Playground, New York, Hall of Science (NYHOS), Queens) .....	13
3.9. Врт открића, Државни Универзитет у Џорџији (Discovery Garden, Georgian Court University ) .....	14
3.10. Остали паркови у свету који су се развили под утицајем наведених паркова.....	14
4. Школа и њено двориште као 3Д уџбеник .....	15
5. Развој паркова науке у Србији .....	17
5.1. Парк науке у Шапцу .....	17
5.2. Паркови наука у Центрима за стручно усавршавање у Србији. ....	19
5.2.1. Парк знања у Чачку .....	19
5.2.2. Парк науке у Кикинди .....	20
5.2.3. Парк науке у Нишу .....	20
5.2.4. Парк науке у Крагујевцу.....	20
6. Имплементација концепта школе као 3Д уџбеника у школама у Србији .....	21
6.1. ОШ „Ђорђе Крстић“ Жарково- Београд.....	21
6.2. Инсталације, учила и активности у ОШ „Ђорђе Крстић” .....	21
6.3. Инсталације и учила у Земунској гимназији .....	22
6.3.1. Галилејеве апаратуре за проучавање кретања у гравитационом пољу .....	22
6.3.2. Стрма раван са звончићима и клатном .....	23
7. Визуелизација на Дан Ноћ и Година Глобусу.....	24

7.1. ДИНГ је идеално учило за визуелизацију појмова и знања о Земљи, њеном облику и кретању и осунчењу.....	24
7.2. Од идеје Земље као равне плоче, до лоптастог облика Земље. ....	26
7.3. Откриће скафеа и мерење величине Земље.....	27
7.4. Пресликавање Земљине дневне ротације на ДИНГ .....	30
7.4.1. ДИНГ са штапићима дуж екватора или са покретним луком - глобусни/сферни сунчани часовник.....	31
7.4.2. Соларно, звездано и стандардно време, једначина времена. ....	33
7.5 Пресликавање Земљиног орбитног кретања на ДИНГ .....	34
7.6. Примена ДИНГ-а у предавању о осунчавању Земље и употреби соларне енергије ...	36
7.7. ДИНГ са штапићима дуж одабраних меридијана и упоредника и одговарајуће едукационе активности које су развили и користи Роси са сарадницима .....	37
7.7.1. Планирање и извођење истраживања.....	38
7.7.2. Детаљи визуелизације дневне ротације и годишњег орбитирања Земље на Паралелном глобусу са штапићима.....	39
7.8. Сумарно о ДИНГ-у и закључак.....	42
8. Визуелизација својстава квадратне функције на Торичелијевој фонтани .....	44
8.1. Млазеви из цилиндричне посуде са три отвора у Торичелијевом чланку из 1644. и у уџбеницима физике.....	44
8.2. Торичелијева фонтана у парковима науке и школском простору .....	46
8.3. Једначина путање капљице .....	48
8.3. а) Домет млаза.....	49
8.3. б) Висина млаза чији је домет максималан на задатом нивоу дотока .....	50
8.3. в) Сусрет два млаза .....	51
8.3. г) Енvelope фамилије трајекторија.....	53
8.4. Домети млазева и Торичелијеве полукружнице за произвољан ниво подлоге.....	55
8.5. Закључак: Торичелијева фонтана је идеална апаратура за демонстрацију и визуелизацију повезаности садржаја у настави математике и физике.....	56
9. Тестирање ученичких знања и способности аргументовања користећи Торичелијеву фонтану.....	58
9.1. Торичелијева фонтана у уџбеницима, часописима и школској лабораторији .....	58
9.2. Методологија истраживања.....	60
9.2.1. Учесници тестирања.....	60
9.2.2. Упитник: Како изгледају путање капљица/млазеви који истичу из три отвора на пластичној боци. Који млаз има највећи домет? Образложи. ....	60
9.3. Резултати истраживања и дискусија.....	62
9.4. Закључак о спроведеној анкети о Торичелијевој фонтани.....	67



10. Визуелизација током расправе о физичкој природи атмосферског притиска: Ричи-Торичелијев експеримент.....	68
10.1. Физички узрок атмосферског притиска: тежина ваздуха или кретање молекула и њихови удари .....	68
10.2. Торичелијев, Ричи-Торичелијев и Паскалов експеримент и објашњења.....	68
10.3. Разлози за постављање питања о физичкој природи атмосферског притиска.....	72
11. Закључак докторске тезе .....	74
<b>12. Литература:</b> .....	76
ПРИЛОГ 1 .....	84
ПРИЛОГ 2 .....	86
ПРИЛОГ 3 .....	88
ПРИЛОГ 4 .....	90
Биографија аутора.....	97

## 1. Општи увод

Потреба да се настава и учење физике и других природних наука одвијају у ширем простору него што је учионица је уочена и истакнута током последњих деценија од стране великог броја научника из различитих дисциплина: физичара [1, 2], астронома [3, 4, 5], географа [6], едукатора [7], педагога, филозофа [8], и архитектата [9]. У данашње време, стицање „брзих“ знања неопходно је да би студенти добили прилику да понове искуства и резоновања научника, како она која су водила до правилних, тако и она која су водила до погрешних решења [10]. Један од простора за едукациону визуелизацију физичких феномена су и паркови науке.

Учење на отвореном, у парковима науке, даје могућност радозналост ученичком уму да доживи науку у природној лабораторији. У посебно намењеном научном простору на отвореном, ученици су слободни да користе доступне и бесплатне изворе као што су сунце, вода и ветар [11]. Архитекте широм света су иницирале и свесрдно се предале иновативном пројектовању школа и паркова науке, као и побољшању свеукупне околине у којој се одвија образовање [12]. У интеракцији едукатора и архитектата настао је и развија се концепт „Школа као тродимензионални уџбеник“. У чланку “The Learning Environment as a Three-Dimensional Textbook”, А. Тејлор [9] је написала: „Околина у којој се учи може бити кориснија и оптималнија за процес образовања ако би се архитектура зграде, природно и културно окружење користили као средство у настави. Сама структура и окружење нису пасиван простор већ активно средства у настави и учењу физике, геометрије, ботанике и екологије.”

Са своје стране, физичари и астрономи су предложили и у школама имплементирали већи број инсталација, већи број едукативних учила и дидактичких примера за шири школски простор [1, 2, 3, 5, 13 - 19]. Аутори подстицајних средина (научници, архитекте, едукатори) су упоредо са дизајнирањем школских простора почели да развијају и концепт парка науке. Инсталације постављене у школским просторима и парковима науке, треба да стимулишу посматрање, изазову асоцијације, инспиришу и подрже учење физике, математике и природних наука, и помогну проблемску и активну наставу и учење [20]. Паркови науке дају шири простор за визуелизацију и подстицај неформалном образовању у учионицама без зидова, на отвореном.

Суштинска ствар у парковима науке је стручна едукациона визуелизација физичких и природних феномена. У овој тези, представљени су паркови науке у свету и код нас, њихов садржај, мисија, развој, потреба и оправданост у развоју критичког мишљења код ученика. Такође, детаљно су обрађене две инсталације у шабачком парку науке, ДИНГ и Торичелијева фонтана. Истражен је њихов допринос и важност у едукационој визуелизацији физичких појмова (поглавља 7, 8 и 9). У поглављу 10 је истражена важност Ричи – Торичелијевог експеримента, аргументација и развој историјске мисли о узроку атмосферског притиска.

Мада се у целом свету развија велики број научних паркова уз подршку научне заједнице, још увек методологија и пренос знања од научника до наставника и ученика као њиховог крајњег корисника није јасно дефинисана, или не постоји. Литература која се бави визуелизацијом физичких феномена сваки дан постаје све опсежнија, јер се савремена настава све више бави образовним процесима и сазнањима за чије усвајање није неопходна простор учионице или прописаног кабинета физике.

## 2. Научна и едукациона визуелизација

Данас постоји значајна литература које се баве темом научне и едукационе визуелизације. Постоје књиге, посебни часописи са наведеном тематиком, зборници радова са конференција, [22\*, 23, 24-33]. До те „експлозије“ чланака и текстова на тему визуелизације је дошло због разноврсних могућности које су се појавиле развојем информационо комуникационих технологија. У данашње време, графичко представљање физичких појава и међусобне зависности карактеристичних физичких величина је веома олакшано применом компјутерског софтвера уз развој нових метода презентације.

Графичком приказу претходило је табеларно представљање; Фејнман је написао да је прву табелу осмислио Птоломеј, што се може прочитати у његовој познатој књизи *Feynman lectures on physics* [24]. Од Птоломејеве таблице до данас прошло је више од две хиљаде година. Фејнман у својој књизи истиче да је Птоломеј табелу могао добити кроз експеримент, што потврђује да су Грци радили експерименте у физици. У садржајима који се баве историјом физике се најчешће наводи Архимед као пример великог експериментатора у Грчкој [25]. После Архимеда је дошло до застоја у експериментисању, тако да експеримент, као нови стадијум у развоју метода истраживања у физици почиње да се интензивно развија са Галилејем и наставља после њега. Галилејеви експерименти су истовремено и значајни примери научне и едукационе визуелизације, што доказују извори из Галилејевог музеја у Фиренци или на интернету [26].

Криви торањ у Пизи се може сматрати претечом савремених Паркова науке. Такође, познато је да је Галилеј омогућио и грађанима ван научних кругова да врше астрономска посматрања помоћу његовог телескопа. Од Галилеја до данашњих дана научна и едукациона визуелизација у физици доживљава мерљив напредак. За све ово време се накупило много знања из оптике које се и даље непрекидно увећава. Недавно је у *Physics Teacher* објављен чланак у коме се у једном експерименту визуелизоване четири оптичке појаве, истовремено: преламање, одбијање, тотална унутрашња рефлексија и дифракција [27].

Крајем 60-тих и почетком 70-тих година, почиње се са увођењем технологија у учионицу кроз развој компјутерских презентација и симулација [28]. Идеја је била да наставник имплементацијом технологије у учионицу обезбеди дигиталне алате који ће едукаторима омогућити да креирају окружење у којем студенти уче, кроз самосталан рад („learning by doing“). Један од првих пионирских покушаја у том смеру је било формирање Коридор Лаба у Институту за технологију у Масачусетсу (*Corridor Lab, MIT*). У њему су студенти могли да раде вежбе у време које њима одговара и врше избор жељеног експеримента. Раних седамдесетих година на Институту технологије у Њујорку (*NYIT-New York Institute of Technology*), Полах је развио један од првих интерактивних система визуелизације за предавање физике. Студенти су прво имали прилику да виде симулације (кретање куглице низ стрму раван са различитим коефицијентима трења између куглице и подлоге и Витстонов мост са променљивим отпорима), а затим су радили конкретну лабораторијску вежбу.

Почетком седамдесетих, ово је био пионирски подухват, с обзиром на даљи напредак компјутерске технологије и вишеструкост могућности које су се развиле. Персонални рачунари су донели потпуно нов начин размишљања о апликацијама визуелизације [28].

Пројекат „Раст и облик“ („Growth and Form“) спроведен је на Бостонском универзитету под руководством Јуџина Стенлија (Н. Eugene Stanley), директора центра за студије полимера и Пола Транфа (Paula Tranfio).

Поменути пројекат је имао за циљ да ученике средње школе учи софистицираним концептима у статистичкој физици, кроз примену интерактивних симулација (раст и облици фракталних узорака у природи). Лубен и Ибрахим [29], су се бавили епистемологијом физике и науке уопште. Они уводе дигиталне технологије као саставни део образовних технологија, наводећи да се подршка образовању може одвијати кроз низ дигиталних алата: модерни уџбеници, фотографије, дигитални след слајдова (Power Point), анимације, филмови, симулације, кроз различите изворе на интернету уз задатке засноване на примени компјутерских технологија. Аутори се баве и блиском везом између физике и природе кроз реалан свет феномена, физичке теорије и физичких модела. Аутори сматрају да модели омогућавају визуелизацију приликом објашњавања теоријских принципа. Разумевање физике захтева стварање мисаоних модела који укључују како фундаменталне основе физичке теорије, тако и предвиђања која прате рад са прикладно изабраним научним моделима. Посебно истичу корисну употребу прогамског језика V Python у перцепцији физичких знања. Приликом визуелизације у учењу и предавању физике, аутори разликују „меке“ технологије (демонстрације путем Пајтона) и „тешке“ технологије (физичке демонстрације у простору лабораторије, или на отвореном) [29].

На радионици одржаној 2014. године у Израелском институту за технологију (Technion), М. Божић је представила концепт школе као 3Д уџбеника науке. Радионица је организована у оквиру европског FP7 пројекта Визионар (Visionair - VISION Advanced Infrastructure for Research) [30]. Током радионице су представљени и модели визуелизација у хемији, односно L-net-платформа за молекуларну визуелизацију, компјутеризована хемијска лабораторија (CCL-Computerized Chemistry Lab), визуелизација применом робота у Босмат шестогодишњој средњој школи (Bosmat Six Years High School). Група учесника показала је како се користи ОРСАТ-софтвер за концептуално моделовање које је базирано на Процес објектном моделовању (Object Process Modeling - OPM). Учесници радионице су са М. Божић конструисали OPM модел Торичелијеве едукационе фонтане [30], полазећи од њеног физичког модела [22\*].

Од почетка 2000. године на Институту технологије у Масачусетсу (MIT) изучава се занимљив курс електромагнетизма под називом Технолошки подржано активно учење (TEAL Technology Enabled Active Learning) [31]. Овај курс је креиран и синхронизован са Уради сам („Hands on“) окружењем у којем студенти изводе експерименте уз подршку рачунара. Они решавају задатке постављене на Web-у, и имају приступ свим визуелизацијама и симулацијама. Поменуте алатке за учење им помажу да визуелизују до сада невидљиве електромагнетне концепте и да развију дубљу интуицију о повезаности феномена.

Око 500 - 600 студената је било подељено у групе од 120. и сви су прошли кроз TEAL. Комбиновани су експерименти на рачунару са визуелизацијом ових експеримената, да би студенти били у могућности да „виде“ појаве. Визуелизација која је специјално развијена за овај курс била је организована у пет категорија: Векторска поља, Електростатика, Магнетостатика, Фарадејев закон и Светлост [32]. Преко 100 визуелизација је доступно и може се истражити на линку TEAL-а. Постоје студије које показују да су студенти који су изабрали TEAL формат учења достигли научно боље концептуално разумевање физичких феномена од оних који су изабрали да уче из уџбеника на традиционалан начин [31].

Истраживање аутора показује да је ефекат TEAL - овог курса на студенте изузетно јак. Студентска перцепција научних концепата и знања је дуготрајна и јача, него традиционално усвајања знања. До овог закључка аутори чланка су дошли квалитативном анализом знања експерименталног узорка (студенти који су слушали курс TEAL – а) и контролног узорка који је радио традиционалним методама.

У периоду од 2010 - 2017. физичари из Париза, група „Дизајн и физика“ ("Design and Physics") из Института за нуклеарну физику у Орсеју коју подржава Национални институт за нуклеарну физику и физику честица (CNRS-Institut national de physique nucléaire et de physique des particules) су дизајнирали Националну школу индустријског стваралаштва - Међународне радионице (Ecole Nationale Supérieure de Creation Industrielle, Les Ateliers International), која би сарађивала на фундаменталним физичким темама, као што су квантна механика, суперпроводљивост, оптика [33]. Сваке године су четворомесечне радионице укључивале 15 ученика који су уз подршку професионалних дизајнера, истраживали једну од поменутих тема, сарађујући са физичарима. Диверзитет студентских радова, био је огроман, неки су радили на популаризацији, неки радови су били везани за алате научне комуникације, неки су у наредном периоду били инспирација физичарима за стварање нових дизајнерских објеката или инсталације, а неки су чак дозволили себи и својим радовима да предвиђају или замишљају будућност [33].

Поред употребе дигиталних технологија и подршке дигиталних алата у изучавању фундаменталних принципа физике, све више се развија едукациона визуелизација научних феномена на отвореном простору у школским двориштима и парковима науке кроз формирање 3Д уџбеника, који ће бити разматрани у наредним поглављима рада [11, 13, 15, 16, 21, 22\*, 34 - 36].

### 3. Настанак и развој паркова науке

У време кад је савремена технологија са могућношћу брзе комуникације и неограниченог приступа информацијама ушла у све аспекте друштва, па и у школе, пред школом и наставником је изазов: у ком смеру треба да иду промене да би школа и даље била место за учење и да би је ученици доживљавали као „своју”. У постојећој пракси тешко је променити наставне планове, али је могуће имплементирати различите облике рада. Наставнике треба оснажити едукацијом да буду отворени за ново, за искуства других и да буду спремни да изађу из стандардних оквира за учење, учионице.

Добар наставник више није онај који може што боље и разумљивије да пренесе ученицима одређена знања, већ онај који зна да ученике укључи у активности на часу и ван њега и испровоцира њихову радозналост да сами траже одговоре. Савремени наставник је спреман да учи, да изађе из скученог учионичког простора и да артикулише наставу на отвореном у складу са прописаним Програмима наставе и учења, да се синхронизује са временом и да иде у корак са дигиталним временом у којем су његови ученици („дигитални урођеници“). Наставник чији су ученици спремни да своја знања и вештине пренесу и поделе са вршњацима или млађим другарима јесте успешан наставник. Школа као 3Д уџбеник је концепт чија имплементација ствара услове за развој опажања и изазивање радозналости код ученика, активно учење, пројектну наставу, сарадњу међу ученицима истог и различитог узраста као и укључивање родитеља и шире друштвене заједнице у процес образовања [37].

Постоји више разлога, зашто је порасла популарност научних паркова у научним центрима широм света. Једна од првих конференција везана за паркове, њихово постојање, уређивање и смисао одржана је марту 1915. године на Универзитету Беркли у Калифорнији [38]. На овој конференцији је први пут у историји дата подршка националним парковима. Формирана је и база државних паркова која сто година касније броји 407 националних паркова.

Сто година касније, организован је сличан самит на истом месту са намером да истражи улогу науке у Америчким националним парковима у следећем веку. Сви ови паркови представљају велике лабораторије на отвореном у којима су могућа озбиљна научна истраживања на пољу биологије, екологије, климатологије, физике, хемије, атмосфере и атмосферских прилика. Идеја је да научници изађу из својих скучених лабораторија и да у националним парковима (лабораторијама без зидова) спроведу научна истраживања, укључујући и дуготрајне опсервације тих простора. Као што је Гари Машлис у свом уводном делу за часопис Сајнс (Science). Написао: „Постоји јака и позитивна повратна спрега између паркова за науку, и науке за паркове“. Употреба паркова за базична истраживања води заправо употребљивом, корисном знању како његових посетилаца и јавности, тако и научном утемељењу истих [38, 39].

Идеја формирања паркова науке у свету се шири од краја седамдесетих година, (у Индији су настали први научни паркови) па све до данас. Мада се исти или слични „hands-on“ експерименти на отвореном простору (парк науке) јављају у великом броју научних центара у целом свету, сваки парк науке има своју аутентичност [40]. У овом поглављу биће представљени најважнији и најутицајнији паркови науке у свету које су формирану у сарадњи са универзитетима у тим земљама, уз јасну, континуирану и стручну подршку универзитетских професора и истраживача са факултета.

Отворен простор даје прегршт могућности за постављање и коришћење научних инсталација, као и посебну врсту флексибилности у њиховом обиласку, проучавању, коришћењу и учењу. Овакви научни простори на отвореном окренути су природним изворима **сунцу, ветру и води**. Многим посетиоцима, је парк науке асоцијација на свеж ваздух и забаву, али и релаксирано учење у пријатном окружењу. Људи уживају у могућности да посматрају, осећају и уживају у многим научним феноменима који се налазе око нас. Посебно је битна чињеница, да се наука може научити на различитим дестинацијама, а не само у учионицама и лабораторијама [40].

### 3.1. Паркови науке у Индији

Nehru Science Centre у Бомбају је 1979. године Међународну годину детета почео планирањем постављања извесног броја експеримената на отвореном [41]. Дечији научни парк који је осмишљен на 40470 m<sup>2</sup> [42] дворишта испред новог научног центра, је постављен девет месеци касније, као поклон деци Бомбаја. Од тада, сваки новоизграђен научни центар у Индији према ставу Националног савета Научних музеја (National Council of Science Museums-NCSM) је морао имати парк науке у простору дворишта са циљем приближавања науке јавности и деци.

У Бомбају парк науке је у себе укључивао игралиште прилагођено демонстрацији закона науке. У самом парку су се могли демонстрирати брахистохрона, дејство центрифугалне силе, правила осциловања различитих клатана и различите врсте справа које су демонстрирале законе механике. У 2004. години је на 1.214.000 m<sup>2</sup> земљишта у западном Ахмедабаду, изграђен Гујарат Сајнс Сити (Gujarat Science City), велики центар финансиран од стране државе а под стручним окриљем NCSM.

Овај град има парк науке са више осмишљених простора. Други део парка је посвећен изворима обновљиве енергије, укључујући соларну енергију, биомасу, хидроелектричну енергију, топлотну енергију океана, геотермалну енергију, енергију ветра, ветрењаче и ветро генераторе. Мада се овај парк науке, значајно разликује од осталих паркова у Индији, његова мисија остаје иста као и осталих, повезивање науке и технологије у свим облицима у живописном природном окружењу [41].

### 3.2. Врт науке, Вајцманов научни институт у Реховоту, Израел (The Clore Garden of Science – Weizmann Institute of Science in Rehovot, Israel)

Вајцманов институт науке је истраживачки институт за природне науке и математику. У простору Вајцмановог института налази се Парк науке на отвореном који је формиран у сарадњи са међународним истраживачким тимом. Парк науке у Реховоту је основан 1998. под називом The Clore Garden of Science. На простору од 10.000 m<sup>2</sup>, парк служи како студентима Вајцмановог институтта, тако и свим студентима који долазе из различитих земаља.

Тадашњи научни директор Парка представља низ инсталација које се могу имплементирати у спољашњи парковски простор и служити функцији едукационе визуелизације, пре свега физичких феномена. За едукациону визуелизацију у спољном простору (дворишту школе или парку науке на јавној површини) могу се користити вода, околина, Сунце, ветар, таласи, музика, кретање и просторне инсталације [11].

**Вода:** Особине воде се најчешће могу демонстрирати у спољном простору, како њено брзо, тако и споро протицање. Примери инсталација које се могу имплементирати у просторима на отвореном: Водени топови, турбине, Архимедове полуге, базени са таласима, дуге, водени вртлози, итд.

**Околина и рециклажа:** Ове инсталације су битне за подизање нивоа свести младих посетилаца и ученика и охрабрују имплементацију у њиховом свакодневном животу. Инсталације су следеће: Метеоролошка станица, систем за пречишћавање вода, примарна сепарација отпада: папира, пластике, метала и стакла.

**Соларне инсталације** директно користе Сунчеву енергију и показују предности алтернативних извора енергије. Инсталације су: „врући“ тунел, соларна ограда, соларни бојлер, фото-напонске ћелије или соларни панели, соларне фонтане, сунчани часовници.

Ветар је још један алтернативни извор енергије, чије се могућности могу демонстрирати на отвореном. Следеће инсталације се могу јакo често наћи у парковима науке Ветрењаче, показивачи смера ветра, аеродинамична крила.

Таласи и Комуникација: Звук, светлост, време и многи научни феномени се преносе таласима. Инсталације које се могу поставити у парковима науке користе особине таласа и то су:

генератор дугих таласа, звучне цеви, Панова свирала, ехо цев, акустична параболична огледала (која се користе за бежичну комуникацију).

Музика: Потпуно је релаксирајуће слушати музику која је настала у спољашњем парковском окружењу, где је звук заробљен унутар пријатног простора и вегетације. Следеће инсталације које су погодне за спољни простор су: литофон (мермерни ударачки инструмент), стаклени ударачки инструмент, музичко камење, метални бубњеви.

Кретање: Кретањем се могу демонстрирати механички феномени кроз интерактиван приступ: циновска полука, различитих дужина и позиција тачака ослонца, тобогани, ЈО-ЈО, жироскоп, систем за подизање, демонстрација деловања Кориолисове силе, инерцијалне путање, резонанција, Њутново клатно итд.

Астрономска истраживања:Телескопи, Бернулијева инсталација, Месечева и Јупитерова гравитациона љуљашка. Симулација 1/6 гравитације која се осећа на Месецу, планетарне скале (демонстрација тежине на различитим планетама), пропорционалан модел Сунчевог система. Отворен простор у научно-образовном центру је по речима његовог креатора Моше Ришпона: “Идеалан оквир за истраживање научних принципа. Блага Медитеранска клима допушта нам да уклонимо кровове и места наших изложби, која описују и демонстрирају природне феномене и да их покажемо у самој природи“.

Будући да је Израел због свог географског положаја „повлашћен“ са 300 сунчаних дана годишње, сам парк омогућава истраживање могућности соларне енергије“ [11]. Неке од најзанимљивијих инсталација које користе Сунчеву светлост су следеће:

1. Пуна дуга, (узрокована дисперзијом сунчеве беле светлости на све њене спектралне компоненте);
2. Соларна пећ, (закривљено параболично огледало које задржава енергију сунчевих зрака, узрокујући паљење танког палидрвцета у фокусу огледала);
3. Глобус оријентисан паралелно са Земљом;
4. Соларна Фонтана (код које је апсорбована сунчева енергија аналогна висини млаза фонтане);
5. Соларни колектори, шест покретних огледала која рефлектују сунчеву светлост у централни колектор;
6. Соларни бојлери.

Велика предност у животу и функционисању Врта науке (The Clore Garden of Science) су окружење и људски ресурси који се школују и раде на Вајцмановом институту. Сам Институт охрабрује истраживаче да раде у Врту. Више од 200 институтских научника и студената волонтирају као инструктори и саветници у Врту, у вананставним научним програмима.

Сви ови значајни фактори служе за научну контролу и „рецензију“ поменутог парка (што није ситуација у свим парковима науке на свету). Формирање парка у Реховоту је утицао на отварање још неколико, Национални научни музеји Израела, Научни парк обновљивих извора енергије, Сај Тех Уради сам, Музеји на отвореном, Научни парк на отвореном у САД, (The Israel National Science Museums Noble Energy Science Park in Israel, SciTech Hands On Museums Outdoor Science Park in the USA) [11] [43]

### **3.3. Парк науке Сај Тех, Уради сам Музеј, јужни врх острва Столп на Исланду, САД (SciTech Hands On Museum, southern tip of Stolp Island, USA)**

СајТех уради сам Музеј (SciTech Hands On Museum) [11] су осмислили научници из две државне институције: Фермијеве и Аргонове лабораторије у САД (Fermi National Accelerator Laboratory and Argonne National Laboratory - USA).



Парк науке на отвореном се налази на јужном врху острва Столп. Две гране реке Фокс се срећу баш испред Центра, стварајући инспиративан простор који привлачи много туриста. У овом својеврсном Парку науке на отвореном, могу се истражити различите теме везане за воду, кретање, таласе, звук, енергију, природу и музику. Интерактивне изложбе и инсталације на отвореном користе, сунце, ветар и воду као изворе занимљивих „уради сам“ екперимената.

Парк науке на отвореном садржи више од 15 инсталација. Овај парк је прављен по угледу на Израелски парк науке (The Clove Garden of Science). Површина на којој се налази научни парк на отвореном је 500 m<sup>2</sup>. Ове године СајТех (SciTech) парк пуни 20 година.

### 3.4. Финска - Галилејев научни парк

Галилејев научни парк Еурека у Финском научном центру у Ванти (Galilei Science Park – Heureka, Finish Science centra, Vantaa) отворен је почетком 2001. године [44]. Овај парк заузима приближно 8000 m<sup>2</sup> и простире се између научног центра и реке Кераве. Целокупан простор је подељен мрежом потока, малих острва и мостова, тако да је преко 20 малих поставки тематски везаних за воду.

Дизајнерски тим парка, са дизајнером са Вајцмановог института у Реховоту (Израел), су се потрудили да уклопе парк у природно окружење. Посетиоци могу користити Архимедову инсталацију да пребаце воду са једног нивоа, на други или да директно искористе енергију воде која протиче, да направе водену ветрењачу.

Будући да Финци воле музику, овај парк се одликује са три квалитетна извора звука (кластери блокова који резонирају) од различитих материјала ксилофон (дрво), металофон (алуминијум) и литофон (камен). Математички простор садржи такође многобројне занимљиве инсталације, као што је пузање кроз Клајнову боцу (Klein s Bottle) са својом јединственом уврнутом површином, Мобијуцова трака (Möbius Strip) скулптуру, затим 7 малих мостова преко реке премештајући посетиоце у историјски познат Руски град Конигсберг (Königsberg), упознајући посетиоце са Конигсберговим проблемом мостова, који је успешно решио Леонард Ојлер 1736. године.

У простору Физике, налази се, велики људски ЈО - ЈО, који коришћењем снаге посетиоца подиже човека на висину од 4 m и омогућава посетиоцу да осети све ефекте ЈО – ЈО - а. У овом делу се налазе још ветро - генератори, десетометарски термометар. У финском научном парку се подржава и промовише породично учење, јер је за покретање неких инсталација потребна асистенција више људи.

Изузетна је информација да је више од половине поставки прилагођено људима са посебним потребама. Такође су планирани простори и одморишта за породична окупљања, пикник, шетњу.

Највећи изазов финског парка је оштра клима и климатске промене односно спуштање температуре до чак 40°C испод нуле. То је и основни разлог зашто парк ради само од маја до септембра. Озбиљна истраживања у прве две године рада овог финског парка, показала су да све више људи долази у парк науке, али и да је време њиховог боравка у парку порасло и стално се продужава.

### **3.5. Парк открића - Херстмонсу, Источни Сасекс (Herstmonceux, East Sussex)**

Парк открића је отворен испред Астрономског центра у Херстмонсу у Источном Сасексу 1999. године. Одликује се са више занимљивих инсталација, при чему су најупечатљивије Звучне цеви (Sound Tubes), стаза енергије, и једна од можда најинтригантнијих инсталација чија функција зависи од угла посматрања, а то је Ајнштајнова/мапа скулптура. Гледана из једног угла, она представља мапу света, док се пажљивим посматрањем и кретањем ова мапа претвара у лице Алберта Ајнштајна.

Једна од идеја везаних за парк која је касније реализована је снимање путања Сунца у различитим периодима године. Посетилац може да изабере стазу која одговара рођендану посетиоца, са сазнањем да ће тог дана сенка да прати његову стазу рођендана.

Аутори парка сматрају да наука не би требало да буде ограничена оградом, већ да науку треба изместити у отворен животни простор и да се много може радити на научним идејама у спољном простору. За такве идеје не треба имати озбиљну опрему и грађевинска решења јер је све већ надохват руке. Уз употребу фото-апарата током године и сезонских промена, може се фотографисати Сунце у солстицију, еквиноцију. Наука на отвореном по мишљењу аутора постоји већ дуго, практично од почетака људске цивилизације и интелектуалног спознавања. Еклатантан пример је Стоунхенџ (Stone henge) и трилитска конструкција која је преусмерила размишљања тадашњих архитеката, грађевинаца и научника.

### **3.6. Парк науке у Монтшир Музеј, Норвич, Вермонт (Montshire Museum, Norwich, Vermont)**

Парк науке у Вермонту [45] је отворен 2002. године као изложба на отвореном. Тим научног парка, је планирао нови парк који ће одсликавати руралну природу Нове Енглеске. Музеј је смештен на фантастичних 445.170 m<sup>2</sup> површине који се протеже током реке Конектикат (Connecticut) дуж источне границе. Скулптуре које су саставни део овог научног парка су од природних материјала који се налазе у окружењу: дрво, камен, гранит и биљке које су изабране у складу са великом речном долином и планинским окружењем. У Парку науке се такође налазе табле са упутствима које помажу посетиоцима да осете и разумеју комплексност света природе.

Овај научни парк је у потпуном складу са звуцима природе и са кретањем воде и ветра у истом. У самом парку постоји сагласност између унутрашњих и спољашњих инсталација. На пример, у унутрашњем простору, посетиоци могу истражити ток и кретање тела различитог облика у „тунелу протицања“, а затим у спољном простору Парка науке све то могу поновити у реци Рил која протиче кроз парк.

Слично је са опсервацијом звука у контролисаним условима и у природи. У монтширском акваријуму посетиоци могу слушати жабе и снимке мелодија многих врста. У спољном простору, за оне који се питају како тако мале врсте могу производити тако велику „буку“ могу пробати драматичне и изненађујуће експерименте са акустиком и резонанцијом на слушајућој цеви, резонантном клатну и вибрирајућем камену.

У својој првој години постојања Парк науке је постигао неочекиван успех. Посета је порасла у односу на претходни парк који није садржао ове инсталације за 40%. Такође, научни парк је повећао број посетилаца током врелих летњих дана са 16% на 80% у односу на период када парк није био обогаћен скулптурама и научним инсталацијама.

Популарност парка и повећан број посета су потпуно испраћени кроз медије, те је у том смислу о парку писано и у Њујорк Тајмсу - Део путовања (New York Times-Travel Section). Креатори Парка и даље раде на обогаћивању парка инсталацијама и образовном обогаћивању кроз питања на која желе одговоре (а која захтевају озбиљна истраживања), као што су: Да ли су посетиоци Научног Парка усавршили своје вештине посматрања? Да ли после посете Парку помажу боље и лакше разумевање веза у природи? Да ли је порасла радозналост посетилаца?

Ова питања утиру стазу за нова истраживања у поменутом Парку науке, са жељом и намером његовог обогаћивања и подстицања посетилаца на критичко мишљење и проактивно размишљање.

### **3.7. Врт открића, Научни музеј, Вирџинија, Ричмонд. (Discovery Garden, Science Museum, Virginia (SMV), Richmond)**

Испред Музеја науке у Вирџинији планиран је Парк открића посвећен мултидисциплинарности науке на отвореном. Он ће бити лоциран на парцели површине  $52.611\text{m}^2$ , на подручју које се налази директно иза музеја. Овај парк ће у себи повезивати теме које се тичу националне историје, екологије, хемије, геонаука, енергије, физике и кретања.

Идеја је да садржај парка буде усаглашен са стандардима учења Вирџиније (Virginia Standards of Learning) и са пројектом 2061 научне писмености (Benchmarks for Science Literacy) под руководством Америчке асоцијације за напредак науке. У SMV ће доћи до повезивања деце, младих и старих са светом око њих, које је фундаментално за њихов здрав развој, емоције и образовни напредак.

Циљеви којима тежи поменути парк је да се на глобалном нивоу побољша разумевање и примена научних концепата и да се посетиоци блиско повежу са својим биолошким, хемијским и физичким окружењем. Као део планираног процеса, повезано је формално учење са популарном литературом и људском интеракцијом са животном околином.

### **3.8. Дечија снага, Научно игралиште у Њујорку, Хол науке, Квинс (Kidpower! Science Playground, New York, Hall of Science (NYHOS), Queens)**

Научно игралиште под именом Дечија снага (Kidpower) смештено је на  $2787\text{m}^2$  у њујоршкој кући науке у Квинсу. Научно игралиште је отворено 1997. године са намером да направи везу између деце и едукатора [46]. Дизајнирано за децу од 6 до 14 година, парк је привукао велику пажњу јавности. Додатан изазов за дизајнерски тим парка је био да осим научности, обезбеди и безбедност деце свих узраста. Изложбе и инсталације које су постављене у овом парку, морале су бити у исто време и научне и интересантне за децу. Ово игралиште у себе укључује енергетски талас дуг  $45,72\text{m}$ , циновски талас висине  $9,14\text{m}$ , и изложбу на води, дугачку  $30,48\text{m}$ , а све са намером да се илуструју базни закони физике и веза између деце, енергије и физичког света.

Принципи истезања, угаони импулс, техничко образовање и природа енергетских таласа, нису толико типичне теме у науци основне школе. Највећи изазов за креаторе овог парка је био да ове научне концепте учине прихватљивим деци у просеку од 8 година. На научном игралишту, деца уче о овим концептима кроз директно деловање са оним што виде као занимљиву опрему у парку.

Хватачи сунца (Suncatchers) омогућавају деци да усмере сунчеве зраке на фотоћелије покретне скулптуре. Када погоде мету деца покрећу ротирајуће елисе или укључују хлађење машине. Они истовремено уче и о рефлексији и о снази Сунца. Затим се у парку срећу са прављењем вртлога, или демонстрацијом закона одржања момента импулса. Наведене инсталације и многе друге омогућавају деци да виде директну везу између њиховог деловања и енергије и физике универзума.

Само три године касније од отварања, у оквиру истог простора дизајниран је и научни парк за децу предшколског узраста. Оба дизајнирана дела парка су усаглашена, што омогућава родитељима да лако чувају и старију и млађу децу. Градећи научно игралиште за децу млађег узраста, дизајнери су осетили да би требало да се више окрену природном окружењу кроз дизајнирање и озелењавање малих брда и равница. Дизајниран је простор са другачијим правилима.

Императив за оба дела парка је била безбедност деце и разоткривање научних истина. Порука најмлађима је да је сваки простор око њих, простор за учење, комбинован са сензорним и откривајућим искуствима. Безбедност, одрживост, и прилагођеност узрасту су били

најважнији водичи у креирању безбедне и узбудљиве околине за научну платформу учења на отвореном.

### **3.9. Врт открића, Државни Универзитет у Џорџији (Discovery Garden, Georgian Court University )**

Дискавери гарден (Discovery Garden), или Врт открића дизајниран је 2011. године са намером да омогући студентима, будућим наставницима и учитељима да спознају искуство учења на отвореном [17]. Врт представља модел неформалног учења са намером повезивања учioniчких и ванучioniчких знања и искуства.

Државни Универзитет у Џорџији (Georgina Court University) одлучио је да премости учење у учioniци са спољним светом, где се научни закони још увек могу применити. Врт открића (Discovery Garden) у себи садржи научне концепте везане за физику и астрономију. Овај Врт има неколико значајних инсталација: Модел соларног система (о самом моделу се водило рачуна, због односа величина, тако да су и планете и растојања умањена 1000 пута), Сунчани часовник (овај сат је калибрисан за географску ширину Универзитета у Џорџији Georgian Court University), што значи да је угао гномона - казаљке једнак прописаној географској ширини, и оријентисан је у смеру осе Земљине ротације, односно према Северњачи), **Компас** (инсталација представља огроман компас) пречника 12,19 m док се у самом центру налази мањи, пречника 0,61 m.

У чланку о Врту открића, аутори откривају и које су најчешће грешке код формирања паркова и избора инсталација: и дају следеће савете:

1. Не покушавати са имплементацијом великог броја инсталација,
2. Избећи велика и детаљна објашњења. Омогућити посетиоцима да истражују сами и зароне дубље у науку.
3. Покушати са усаглашавањем идеје и функције
4. Парк захтева, озбиљну техничку документацију, и мере безбедности у коришћењу инсталација.

Овај Универзитет је један од ретких који се специјализирао за две активности повезане са образовањем.

- 1) Улазак у средње школе и одржавање часова астрономије.
- 2) Обука будућих наставника да користе врт као пример неформалног учења „уради сам“ експеримента и савладавање истраживачког учења, односно учења путем решавања проблема.

### **3.10. Остали паркови у свету који су се развили под утицајем наведених паркова**

Поред наведених паркова од којих сваки у себи има један део или концепт који се бави изучавањем физике и едукационом визуелизацијом физичких феномена, постоји значајан број научних паркова у свету, који су пре свега окренути изучавању флоре и фауне и демонстрацији неких природних наука, као и интеракцијом човека са биљкама, житотињама, водом и значајем њихове синергије уз поштовање еколошких и одрживих принципа.

Неки од њих су: БиоКвест, Музеј Живота и Науке у Северној Каролини у Дураму (BioQuest, North Carolina Museum of Life and Science (NCMLS) in Durham), Игралиште Авантура, Беркли (Berkley Adventura Playground - ВАР), Научни и Технолошки центар Индонезије у Џакарти (Science and Technology Center of Indonesia in Jakarta), Хју Мур Историјски Парк и Музеј, Истон, Пенсилванија, (Hugh Moore Historical Park and Museum, Easton, Pennsylvania), Лоренсов Хол Науке - Силе које обликују Обалу - Сан Франциско (Lawrence Hall of Science - Forces That Shape the Bay - San Francisco), Хидродју, Интерактивни водени парк, Херенталс, Белгија (Hidrodoe, Interactive water park, Herentals, Belgium), ВондерЛаб Музеј Науке, здравља и Технологије, Блумингтон, Индијана (WonderLab Museum of Scinece, Health and Technology, Bloomington, Indiana итд.).

#### 4. Школа и њено двориште као 3Д уџбеник

Потребу да се за учење физике и природних наука користи шири школски простор од саме учионице учили су и истакли многи едукатори и истраживачи процеса образовања. Са своје стране, архитекте и дизајнери су свесрдно прихватили и спроводе иновативно пројектовање школског простора, са циљем да постане стимулативан за учење.

Тако се дошло до концепта школе и њене околине као тродимензионалног уџбеника. Потребни су ходник, двориште, кров, фасада, тераса да би се уградили уређаји и елементи који омогућују пресликавање, демонстрацију и студирање физичких појава и тако изазивају асоцијације и подстичу интересовања и питања код ученика. Са своје стране, архитекте широм света су иницирале и свесрдно се предале иновативном пројектовању школа, као и побољшању свеукупне околине у којој се одвија образовање [46].

У свету, али и у Србији се већ неко време развија и имплементира концепт школске зграде као тродимензионалног уџбеника са намером да се подстакне радозналост и заинтересованост ученика за природне науке, посебно за физику, и ради осавремењивања наставе применом метода активног учења. Циљ је да се лабораторија за физику и друге природне науке прошири у цео школски простор, укључујући двориште и околину школе. Историја науке нас учи да је раст знања о природним појавама најчешће почињао посматрањем интересантних појава у природи. Научници су у почетку вршили мерења у природи, а касније створили експерименталне лабораторије.

Добра настава би требало да омогући ученицима да и сами остваре посматрања, мерења, експерименте и резоновање великих научника. Шта је учење? Како ученик у школи треба да учи? Како треба да организује учење? Ово су питања која се стављају у први план пред наставника у савременој настави-школи.

Циљ савремене школе треба да буде квалитетна настава чији ће **исход бити ученик** који ће знање и вештине доживљавати као вредност. У време кад је савремена технологија са могућношћу брзе комуникације и неограниченог приступа информацијама ушла у све аспекте друштва, па и у школе, пред школом и наставником је изазов: У ком смеру треба да иду промене да би школа и даље била место за учење и да би је ученици доживљавали као „своју“?

У постојећој пракси тешко је променити планове наставе и учења (прописане на нивоу државе од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја) али је могуће имплементирати различите облике рада. Наставнике треба оснажити едукацијом да буду отворени за ново, за искуства других и да буду спремни да изађу из стандардних оквира за учење, учионице. Дobar наставник више није онај који може што боље и разумљивије да пренесе ученицима одређена знања, већ онај који зна да ученике укључи у активности на часу и ван њега и испровоцира њихову радозналост и креативност да сами траже одговоре.

Наставник чији су ученици спремни да своја знања и вештине пренесу и поделе са вршњацима или млађим другарима јесте успешан наставник. **Школа као 3Д уџбеник** је концепт чија имплементација ствара услове за развој опажања и изазивање радозналости код ученика, активно учење, пројектну наставу, сарадњу међу ученицима истог и различитог узраста као и укључивање родитеља и шире друштвене заједнице у процес образовања. Сама структура и околни пејзаж није пасиван простор, већ може бити активно наставно средство у којем се учи физика, математика, астрономија, географија, геометрија, ботаника и екологија. Учитељи, студенти и родитељи уче да „читају окружење“, интерагују са њим и уче из њега на више нивоа.

Корелација међу предметима треба да омогући целовит приступ школском знању и да охрабри ученике да повезују и слободно користе знања из различитих наставних предмета или области. Изаћи из учионице значи искористити све ресурсе школе у циљу промоције

науке и учења. Школски ходник, степениште или зидови великих површина испуњени различитим садржајима школи дају димензије 3Д уџбеника (ПРИЛОГ 4).

Изградњом инсталација и учила које су резултат креативности наставника и ученика у школи се ствара амбијент за учење. У осмишљеном простору наставник је координатор и иницијатор једног другачијег учења и организованим вођењем један део усвајања знања препушта ученицима. У овако дефинисаном 3Д уџбенику, присутна је и вршњачка помоћ, где се неколико година разлике међу ученицима користи као ресурс за подршку у учењу млађима и за демонстрацију знања и вештина са намером да се научено пренесе.

Практично се проверава добро позната чињеница да најбоље учимо када подучавамо друге. Прво морам да знам и разумем, да бих могао пренети другом. Сви уче - и они **који** подучавају и они **које** подучавају. Успех је евидентан јер ти ученици мењају своје понашање и на редовном часу. Уочава се већа пажња и заинтересованост ученика, а самим тим и бољи резултати. Побољшава се комуникација између наставника и ученика јер они постају сарадници.

Све наведено доприноси развијању компетенција за будуће школовање или професију. **3Д уџбеник је отворена књига** чији садржаји зависе од креативности и иновативности свих актера у настави. У процени ефеката оваквог начина учења као и амбијента за учење, евалуацији, наставницима и учитељима је свакако потребна помоћ педагога и психолога [37].

## 5. Развој паркова науке у Србији

Мада је први стручни рад о подстицајној средини написан још 2005. године, [2] конкретни кораци који воде ка афирмацији ове идеје почињу 4 године касније у граду Шапцу (Конкурс градске управе за унапређење квалитета, живота грађана 2010.) и отварањем изложбе о Подстицајној околини у холу Општине Нови Београд. Ову значајну изложбу посетио је председник европског друштва физичара (*Arnold Wolfendale*) и изразио одушевљење имплементацијом интерактивних научних инсталација у школски простор. Прва званична инсталација шабачког парка науке је постављена у Великом парку 26.3.2011. Тиме је шабачки Парк науке почео свој живот.

Недуго после отварања шабачког парка науке у близини кружног тока на Ади у Београду је 2011. изграђен други Парк науке. Овај простор је био специфично, организован и дизајниран за научно-популарне експонате. Постављени су интерактивни експонати из области физике, астрономије, математике, географије, музике и психологије опажања. На површини од 200 квадратних квадрата, са леве и десне стране пешачке и бициклическе стазе, било је постављено шест експоната. Тако је уз помоћ „Звучног огледала”, „Човека сата”, „Плаве планете”, „Камене музике”, „Немогућег троугла” и „Кривина и шина” посетиоцима на забаван начин био предочен занимљиви свет научних феномена. Изградња парка трајала је од средине јула па до новембра 2011.

Остали паркови науке (укупно 6 у Србији, за сада) су отворени касније у простору Центара за стручно усавршавање и на јавним просторима градова у којима су постојали Центри за стручно усавршавање. Једна од практичних предности паркова науке која је тада јасно промовисана била је модуларна градња, односно, градња из делова, тако да је раст паркова обезбеђен у складу са ресурсима. Утврђено је да су средства за покретање појединачног парка у Србији сразмерна средствима за редовно одржавање јавних простора.

### 5.1. Парк науке у Шапцу

Идеја о формирању шабачког Парка науке се јавила 2009. године приликом отварања изложбе посвећене Алберту Ајнштајну и Милеви Ајнштајн - Марић у Народном музеју у Шапцу. Преко пројекта расписаног од стране Градске управе (који је био намењен унапређењу квалитета живота грађана Шапца), обезбеђена су финансијска средства за постављање прве инсталације Парка-Глобуса на отвореном (прихваћеног под именом ДИНГ–Дан, Ноћ и Година на Глобусу).

У наредној години, 2012. постављена је едукативна фонтана са три млаза у дворишту Центра за стручно усавршавање. Следеће године (2013) у сарадњи са Мрежом регионалних центара и Швајцарском агенцијом за сарадњу и развој, обезбеђена су средства за још 11 инсталација. Коначно, 26. 3. 2014. године у Парку науке је постављено још 13 инсталација и тиме је са укупно 26 инсталација заокружена идеја научног Парка, који је усмерен образовању ученика школског узраста.

Данас је Парк науке неговано и посећено место у којем се активно учи, размишља, размењују информације, анализира, критикује, допуњава и корелира знање. Велика предност шабачког Парка јесте његова позиција, јер се двориште ЦСУ (Центра за стручно усавршавање), граничи са основном школом „Стојан Новаковић“ и предшколском установом, тако да су деца различитих узраста непрекидно у Парку науке и у научном процесу. Парк науке је замишљен као систем научних улица (које су добиле називе према инсталацијама које се налазе у њима), у којима се може разматрати и активно мислити у одређеној научној области.

На пример, у улици Исака Њутна налазе се инсталације везане за класичну механику као што су Њутново клатно и Брахистохрона. У улици Чарлса Дарвина (посвећеној биологији) инсталиране су спиралне структуре ланца ДНК, у Менделејевој улици су инсталирани

моделу атома и кристална структура кухињске соли, док се на Питагорином (математичком) тргу, налази „течна” Питагорина теорема, божанствена пропорција (златни пресек-златна спирала) као и велики модел пирамиде са видиковцем итд. На самом крају Парка је улица Сигмунда Фројда са оптичким илузијама [47].

Концепција Парка је таква да појаве које не могу да се сместе у учионички простор или које представљају историјско посматрање научника на отвореном, буду представљене у дворишном простору Центра. Парк науке представља подршку изучавању природних наука у вишим разредима основне и у средњој школи. У парку се може представити део научних инсталација које обогаћују научни живот града и чине науку интересантном, подстицајном и занимљивом на уникатан начин.

ДИНГ (како га још зовемо и паралелни глобус) користи се за посматрање сезонских промена које омогућава глобус. Праћењем линије терминатора који разграничава обданицу и ноћ, али и омогућује слику осунчаности коју даје Земља у односу на Сунце приликом смене годишњих доба (засенчен и осунчан део Глобуса), добија се информација о дистрибуцији Сунчеве слетлости и о трајању обданице и ноћи. ДИНГ је уједно и сферни сунчани часовник намењен за различита разматрања, за децу у образовању од 5 до 19 година и наставним предметима као што су географија, астрономија, физика, математика и историја.

Њутново клатно је инсталација која може имати различит број куглица, служи за демонстрацију закона одржања енергије и импулса. Инсталација се може користити у настави у 7. разреду основне школе и 1. разреду средње школе (учбеник за прву годину гимназије се у Додатку, бави овом проблематиком). Важно је истаћи да свака инсталација у шабачком парку науке, има своје место у Програму наставе и учења. Још једна популарна инсталација, брахистохрона-таухохрона крива је била тема дуге научне преписке Галилео Галилеја ради решавања проблема (дилеме) да ли је најкраћи пут увек и најбржи? Инсталација Брахистохрона или „Преко прече, наоколо брже” изведена је у сарадњи са Математичком гимназијом (матурски рад Вукадина Зиндовића) и Институтом за физику у Земуну. Састоји се од два жлеба. Низ жлеб, одређен једначином брахистохроне, куглица се спусти за најкраће време.

Периодни систем елемената краси фасаду зграде испред које се налази необична летња учионица, тј. графенска учионица. Име учионице настало је као резултат инспирације аутора структуром графена. Бело поље на фасади зграде омогућава пројекције различитих научних садржаја, симулација и презентација на отвореном.

Активни ланац ДНК у улици Чарлса Дарвина, постављен је поводом 60 година од како су Вотсон и Крик открили грађу ДНК-а (2013. година је била година поменутог открића) Ученик у Парку науке у Шапцу, сам прави спиралу од чланака поштујући угао од  $36^\circ$  између претходног и наредног чланка. Са 10 чланака први ланац је готов уз поштовање комплементарности пуринских и пиримидинских база.

Шабачки (гринички) меридијан представља реплику оригиналне инсталације у Гриничу, надомак Лондона. То је заправо модел који приказује осу Земље, Земљин екватор, и два меридијана на међусобном растојању од  $15^\circ$ . Угао који оса гради са хоризонталном равни је приближно  $45^\circ$ , пошто је то приближна географска ширина Шапца. Пројекција осе овога модела лежи дуж локалног меридијана, који је означен црвеним плочицама на поплочаној стази у шабачком Парку науке.

Планетарни модел атома са којим су се ученици већ срели у школи, увек привлачи њихову пажњу као и оптичке илузије у улици Сигмунда Фројда. Питагорина теорема (математички трг) демонстрира се на очигледан начин кроз систем преливних квадрата. Течност из судова над катетама, ротирањем система, прелива се и пуни суд над хипотенузом. Ефектна, очигледна и научно занимљива инсталација [48].



Школа као 3Д уџбеник се може реализовати на различите начине. Истраживања која смо спровели, показују да су учила и инсталације у ширем школском простору корисне наставном процесу. Измештене из учионице, оне буде пажњу ученика, изазивају њихово интересовање, развијају запажање, жељу за истраживањем и експериментисањем, као и потребу да сами нешто направе.

Посебно је корисно што оваква школа отвара много могућности за међусобну сарадњу ученика, наставника и родитеља. Јавља се интензивнија међушколска сарадња ради посета, преузимања и размене идеја. Интерактивност инсталација великих димензија смештених у осмишљеном „научном” окружењу шабачког Парка науке је довољан разлог за посету ђачких екскурзија и за развој посебне гране у туризму - **образовни туризам**. Планиране посете у присуству предметних наставника у потпуности оправдавају образовни задатак школских екскурзија.

## **5.2. Паркови наука у Центрима за стручно усавршавање у Србији.**

Година 2017. је обележена заједничком сарадњом ЦПН-а (Центра за промоцију науке) и Центара за стручно усавршавање у Србији, као и подршком 9 градоначелника локалних самоуправа на децентрализацији и промоцији науке. Заједно са локалним Центрима за стручно усавршавање наставника и Регионалним центрима за професионални развој запослених у образовању, Центар за промоцију науке је током пролећа и лета 2016. године отворио 12 научних клубова у 12 градова Србије.

Следеће године, 2017. ЦПН је са партнерима поставио нови амбициознији циљ да се током године у двориштима или на јавним површинама у сваком од градова, где постоје центри за стручно усавршавање осмисли и формира Парк науке. Мисија паркова науке отворених у нашој земљи подразумева успостављање регионалних центара за промоцију науке, као места сусрета грађана са науком и технологијом, али и научних институција са привредом и, посебно талентованих ученика и студената са иновативним и новим приступима учењу.

Циљ овако дефинисане промоције науке је да понуди одговоре на питање како наука може да помогне грађанима, али и да обезбеди све услове да деца, ученици и одрасли имају приступ постојећим и новим знањима. Да би се успоставила јасна мрежа паркова науке у Србији, било је потребно разговарати са свим заинтересованим представницима градова, дефинисање локација, израда каталога нових интерактивних експоната уз укључивање истраживача, архитеката, дизајнера, научних комуникатора, наставника и ученика из целе Србије. Под директним утицајем креатора шабачког Парка науке, у Србији су отворена још четири парка науке и то у Чачку, Кикинди, Нишу и Крагујевцу. Иницијатива која је потекла од Центра за стручно усавршавање у Шапцу и од Центра за промоцију науке је полако добила на убрзању.

### *5.2.1. Парк знања у Чачку*

У дворишту техничке школе, у Чачку, отворен је Парк знања 17. 11. 2017. Чачански парк науке је отворио тадашњи Министар просвете, науке и технолошког развоја Младен Шарчевић и бивши директор Центра за промоцију науке, Немања Ђорђевић.

Парк науке поседује следеће инсталације: Паралелан глобус, метеоролошку станицу, Теслин трансформатор, струму раван, модел ДНК, соларни панел. Оно што је била идеја како чачанског, тако и осталих паркова науке је да стручне школе (пре свега техничке и архитектонске) прихвате изградњу научних експоната, уз идеју и слободу да и ученици буду креатори идеја за интерактивне инсталације. У том смислу, изградњи целог парка подршку је дала Машинско-саобраћајна школа у чијем дворишту је настао поменути Парк знања, будући да Регионални центар не поседује сопствено двориште.

### 5.2.2. Парк науке у Кикинди

Следећи град у којем је отворен Парк науке у дворишту Центра за стручно усавршавање била је Кикинда (2017/2018). Кикинда је за сада, једини град у Војводини који поседује парк науке. У овом периоду, НИС (Нафтна индустрија Србије) пружа отворену подршку парку науке у Кикинди, али и другим парковима науке у Србији. Овај парк је део заједничког пројекта, односно конкурса „Заједници заједно“ од стране компаније Нафтне индустрије Србије, локалне самоуправе и Центра за стручно усавршавање у Кикинди. Парк поседује следеће инсталације: Њутново клатно, соларни панел, оптичке илузије, метеролошку станицу, жиросокоп. Грађен је модуларно и већ три године се допуњава новим инсталацијама.

### 5.2.3. Парк науке у Нишу

У Нишу је у априлу 2017. године отворен Парк знања (такође под утицајем шабачког Парка науке), својеврсна учионица на отвореном. У дворишту Регионалног центра за професионални развој запослених у образовању данас се налазе едукативне инсталације именоване као Архимедова бележница, Паскалов трон, Галилејево клатно, Фарадејев магнетни тунел, SI школе и стаза са бројем  $\pi$ . У оквиру програма „Заједници заједно“ (као и парк науке у Кикинди), компанија НИС, подржала је изградњу Парка знања у Нишу, чији је основни циљ промоција природних наука међу ученицима основних и средњих школа, као и међу свим грађанима Ниша. Креатор парка науке је наша колегиница, наставник физике из Ниша, Ивана Круљ.(тренутно запослена као предавач на Учитељском факултету у Врању).

### 5.2.4. Парк науке у Крагујевцу

Последњи отворен парк је у дворишту Прве крагујевачке гимназије. Он је осмишљен у сарадњи са крагујевачким центром за стручно усавршавање и ПМФ-а и Факултетом инжењерских наука. Крагујевачки центар не поседује двориште, те је парк смештен у дворишту Гимназије. Оваква позиција парка у дворишту школе представља идеално решење за проширење школске лабораторије у школски простор, што и јесте основна мисија и визија постицајне околине за учење природних наука (ПОКО-пројекат) [47].

Поменути парк су отворили представници Министарства просвете, 19. 11. 2018. Прве инсталације Парка, обезбеђене су пројектним средствима Центра за промоцију науке Београд и СВВ фондације. Једна од инсталација, у Парку науке, је и „Функционални модел самоодрживе еколошке куће“, која је израђена у оквиру пројекта добијеним на јавном позиву Центра за промоцију науке Београд, за 2018. годину, а чији је носилац Центар за еколошко образовање и одрживи развој из Крагујевца (ЦЕООР). Овај пројекат је реализован у партнерству са Центром за образовање Крагујевац.

Посетиоци парка, ученици школе и родитељи могу да виде и користе следеће инсталације: Ботаничку башту, Шапталицу, Функционални модел самоодрживе еколошке куће, Дрво са фото ћелијом, Коцкоцикл, Подигни самог себе, Рефлексију. Поред ових инсталација, у Парку се налази и група експоната са темом физике које је донирао Факултет инжењерских наука у Крагујевцу. Корак напред у односу на друге паркове науке је и чињеница да су све инсталације кодиране, те се преко QR-кода корисници и посетиоци парка могу упознати са научним смислом инсталација и радити на њима. Креатори крагујевачког Парка науке су наше колегинице, наставница физике, Ана Марковић и Катарина Вељковић, наставница информатике (TOP 50 на такмичењу GTP - Global Teacher Prize, Varkey foundation).

## 6. Имплементација концепта школе као 3Д уџбеника у школама у Србији

Подстицајна архитектура унутар школских простора се огледа на два начина. Један од начина је интервенција, редизајнирање и осмишљавање школске учионице (најчешће у нижим разредима основне школе), а други који је добио своје утемељење у Србији кроз школски развојни план је настао у ОШ „Ђорђе Крстић“ (2011-2015) и у Земунској гимназији. У поменутиим школама је интервенисано у ширем простору установе, ходнику, фасади, степеништу, галеријама.

### 6.1. ОШ „Ђорђе Крстић“ Жарково- Београд.

У периоду од 30.11. до 29.12.2011. године, у Школи је одржана изложба “Подстицајна околина за учење природних наука” у оквиру четворогодишњег пројекта Школског развојног планирања. Поменута Школа је и једина школа у којој је ПОКО-пројекат [49] постао део Школског развојног плана (ШРП).

Поменута, вишеструко значајна изложба реализована је у сарадњи са “Институтом за физику” у Београду, “Друштвом физичара Србије” и под покровитељством Министарства просвете, науке и технолошког развоја Србије. Изложба је обухватала тридесетак постера са садржајима који детаљније објашњавају појаву или принцип рада постављене инсталације, као и збирку постера са биографијама великих европских физичара, коју је на енглеском језику издало Европско друштво физичара (European Physical Society). Постере преведене на српски је издало Друштво физичара Србије.

За време док је поставка изложбе била у школи ученици су је обилазили са својим разредним старешинама. После обиласка, гласали су за најинтересантнију инсталацију, идеју коју би желели да реализују, виде и имају у својој школи. На основу обрађене анкете, а у складу са материјалним и другим ресурсима урађен је план за њену реализацију. Тај план је постао и део Школског развојног плана (у петогодишњем периоду). Реализација је подразумевала ангажовање, свих наставника, ученика, родитеља, као и научних институција са територије општине и свих заинтересованих субјеката у образовању.

### 6.2. Инсталације, учила и активности у ОШ „Ђорђе Крстић”

У складу са планом, школски развојни тим је низом учила и апаратура уредио и испунио Галерију природних наука, као и друге просторе у школи. У томе су активно учествовали и ученици, што је посебно значајно. Инспириран изреком „Синула му мисао”, ученик, аутор мурала изнад постера са биографијама славних европских физичара нацртао је наелектрисане облаке и муње.

Таленат за ликовно, занимљивост руске традиције и жеља да се примени размера научена на часу математике повезала је ученике и наставнике. Њихова сарадња резултирала је атрактивним Бабушкама дуж степеништа нацртаним у размери 1:2:4:8. Прва Бабушка започиње причу о себи, а последња на врху степеништа објашњава размеру.

Изаћи из учионице и показати ученицима природну појаву или њену симулацију, срести се са биографијама и проналасцима великих научника, видети „стварни” квадратни метар решавати математички израз као игрицу да би проверили колико је сати важан је део процеса учења. Управо тај корак учење претвара у истраживање које за циљ има квалитетно знање.

Нема ученика који није стао и запитао се шта је то „фамилија урана или уранов низ” Видевши зачуђена лица петака пред низом симбола, неко од старијих ученика је увек ту да им објасни. Сам час физике и хемије је много занимљивији кад, уместо у клупама, осмаци део часа проведу на степеништу где заједно са наставником пролазе кроз алфа и бета-распад, обрађујући тему нуклеарне трансформације и ланчаних нуклеарних реакција. Ако ученик сваки пут идући

степеништем прочита да је 3 пута 6 једнако осамнаест, сигурно ће лакше научити таблицу множења. Таблица множења је на степеништу, под ногама ученика.

Присутна је и вршњачка помоћ, где се неколико година разлике међу ученицима користи као ресурс за подршку у учењу млађима и за демонстрацију знања и вештина са намером да се научено пренесе. Тада наставник понуди теме и експерименте, а ученици се сами опредељују шта ће демонстрирати. Код куће пробају, проверавају, са наставником се консултују, ако има недоумица или потешкоћа. Тада су они важни, стичу популарност. Оваквим начином учења сви актери су на добитку.

Најчешћи облик рада је рад у пару, оба ученика су активна што је услов успеха у учењу. Успех је евидентан: ти ученици мењају своје понашање и на редовном часу. Уочава се већа пажња и заинтересованост, а самим тим и бољи резултати. Побољшава се комуникација између наставника и ученика јер они постају сарадници. Социјални ефекат се огледа у укључивању већег броја ученика, често су то ученици који су повучени и делују несигурно на редовним часовима. Смањују се предрасуде према слабијим ученицима. Они ће прво асистирати, а касније и демонстрирати. Ученици стичу самопоуздање, вежбају наступ и презентовање. Све наведено доприноси развијању компетенција за будуће школовање или професију.

Простор је провокативан, садржајан и осмишљен. Следећи корак је подршка наставницима у томе да га користе. Од чега и како зависи хидростатички притисак лакше је разумети кад се пусти у функцију поучна фонтана. Праћењем домета млаза ученици истражују како домет зависи од висине отвора и зашто зависи на тај начин. Низови керамичких плочица којима су покривени зидови простора где је постављена фонтана, искоришћени су за Периодни систем елемената. За време одмора или пре часова ученици имају прилику да се упознају са светом елемената. Чудни називи, различите боје, којима су исцртани симболи, тражење везе између боје и положаја елемента буде ученичку радозналост. Ученици међусобно коментаришу.

У сарадњи са Институтом за физику и заинтересованим родитељима направљена су наставна средства која покривају наставне садржаје или занимљиве феномене, који већ својим димензијама изазивају пажњу не само ученика и наставника већ и свих осталих посетилаца: Миксер боја комбинацијом више ЛЕД диода (laser emitting diodes) ученик добија светлост различитих боја чиме је на путу да добије одговор које боје чине белу светлост. Огледала омогућавају ученицима свих узраста да, самостално, мењајући угао између њих, броје формиране ликове. Интересантно је видети како се повећава број ликова смањењем угла између огледала. Тражење објашњења може бити проблемска ситуација, односно, задатак за осмака.

### **6.3. Инсталације и учила у Земунској гимназији**

#### *6.3.1. 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 на оне које је Галилеј користио у својим експериментима [49]. Закључено је да су оригинални Галилејеви експерименти идеални за наставу засновану на истраживачком методу. Спроводећи такве експерименте са ученицима средње школе, Борђи и коаутори су закључили [2, 50] и 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 [51, 52].

### *6.3.2. Стрма раван са звончићима и клатном*

Посебна занимљивост везана за Галилејев рад се односи на начине мерења времена које је он користио [53]. Један од важних закључака до којих је дошао Галилеј у вези са поменутиим 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 [50, 53].

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 (ПРИЛОГ 2). Временски интервал се мери клатном [53].

Таква стрма раван је у оквиру ПОКО пројекта [49] реализована у Земунској гимназији 2014. године.

## 7. Визуелизација на Дан Ноћ и Година Глобусу

### 7.1. ДИНГ је идеално учило за визуелизацију појмова и знања о Земљи, њеном облику и кретању и осунчењу

Земаљски глобус који се широко користи у образовању, постављен је на подлогу тако да његова оса ротације гради фиксиран угао са равни хоризонта. Овакав глобус је користан у предавању географије и у представљању политичких и других врста мапа, али овакав глобус не може бити користан приликом учења појава на Земљи, које зависе од Земљине оријентације у простору као и од њене оријентације у односу на Сунце. За ове потребе, глобус на отвореном који има исту оријентацију у простору као и Земља је неопходан.

Именован је Дан, Ноћ и Година на Глобусу, дискретно коригујући раније предложена имена и скраћенице Дан Ноћ Глобус, ДНГ [54] и Дан и Ноћ и Година на Глобусу ДИНГ [18]. Од почетка овог века, овако постављен статички глобус, постављен је у Врту науке у Вајцмановом институту (The Clore Garden of Science) [13, 34, 54], у близини Опсерваторије „Макс Валие“ у Италији, у дворишту Тре Универзитета (Tre University) у Риму, у Центру за стручно усавршавање наставника у Шапцу, Србија [55] (слика 1), у Научном парку у Цириху [23] и на другим локацијама.

У истом периоду, произвођачи глобуса су креирали глобусе који могу веома глатко да ротирају око две осе. Глобус са две осе ротације произведен од стране Replogle Globes, био је назван Чудесни глобус [56]. Овакав глобус може бити постављен на било ком месту на Земљи, тако да има исту оријентацију на Земљи у односу на Сунце, као и сама Земља (слика 2 а) На овај начин, све док стоји на отвореном без померања или ротације, Чудесни глобус функционише као Дан Ноћ и Година на Глобусу-ДИНГ.



а)



б)

**Слика 1.** ДИНГ у Шапцу, Србија. Дан-ноћ линија, а) лежи дуж меридијана током пролећне равнодневице и б) гради угао од  $23,5^\circ$  са меридијаном током летње дугодневице. Сlike 1а) и 2 б), су репродуковане љубазном дозволом Europhysics News ( [55] Божић. 2013).

OmniGlobe [57, 58] користи вештачке светлосне изворе, уместо Сунца за демонстрацију и симулацију различитих феномена на Земљи. Он је опремљен са два пројектора и полусферним огледалом, унутар провидног глобуса пречника 1,524 m. Библиотека дигиталних слика, подржана од стране инструмената, компјутерских делова и опреме се налазе у оближњем киоску. ОмниГлоб (OmniGlobe (слика 2б)) може да пројектује бројне геопросторне податке из широке области геонаука и планетарних наука.

Потреба, предности и коришћење ДИНГ-а у образовању и јавном разумевању науке, су изложени и објашњени у чланку [21\*] и у овом раду. Излагање прати историјски развој концепата и људског знања, везаног за облик Земље, Земљину ротацију око своје осе, Земљину

револуцију око Сунца, проблем географске дужине, посматрање времена и дистрибуцију Сунчеве светлости и зрачења широм планете.



а)



б)

**Слика 2.** а) Чудесан глобус креиран од стране Replogle [56]. Он може глатко да ротира око две различите осе. б) OmniGlobe [57] постављен у фоајеу зграде за Физичке науке, на Old Dominion University у Норфолку, Вирџинија, показује сферну пројекцију површинске температуре океана. (Репродуковано љубазном дозволом Чарлса И. Сукеника (Charles I. Sukenik), који је аутор фотографије).

У Одељку 7.2. смо објаснили правило за постављање глобуса у положај тако да има исту оријентацију у простору (свемиру) као и Земља. О овом правилу је дискутовано, упоређивањем релевантних концепата у складу са идејом Земље као плоче са концептима који одговарају закривљености (сферичности) Земље. Одељак 7.3. је посвећен открићу скафеа и Ератостеновом мерењу величине Земље у античко доба и у школама, данас. У одељку 7.4. описали смо пресликавање Земљине дневне ротације на ДИНГ, и употребу тог пресликавања при конструкцији сферног и глобусног сунчаног часовника, као и у објашњењу соларног времена, стандардног времена и једначине времена.

Посматрања Земљине ротације око Сунца на ДИНГ-у, посебно промене угла између осе ДИНГ-а и круга осветљености током године су описана и проучена у одељку 7.5. У одељку 7.6 аргуменујемо да ДИНГ може бити користан у учењу о осунчаности Земље у контексту ефикасне употребе соларне енергије као и у објашњавању секуларних (вековних) климатских промена на Земљи.

У одељку 7.7 приказане едукационе активности са штапићима дуж одабраних меридијана и упоредника које су развили и користе Rossi са сарадницима. У одељку 7.8. закључујемо да је ДИНГ истовремено користан за искуствено истраживачко учење у инспиративној околини, студентима, наставницима и јавности. Такође је користан у настави о природи науке (Nature Of Science-NOS) то јест у учењу битних својстава процеса развоја научних знања, која би требало да познају сви ученици и грађани.

## 7.2. Од идеје Земље као равне плоче, до лоптастог облика Земље.

Мада је човек одвајкада проучавао Сунце и Месец (слике 3а и 3б) и могао да детектује/примети њихов сферни облик, идеја о сферном облику Земље се појавила тек у трећем веку пре нове ере [59]. Претходно је преовладала идеја да је Земља плоча, зато што је посматрачу на њеној површини Земља изгледала као пространа равна са хоризонтом (слика 3б) који придржава небо као куполасту таваницу.

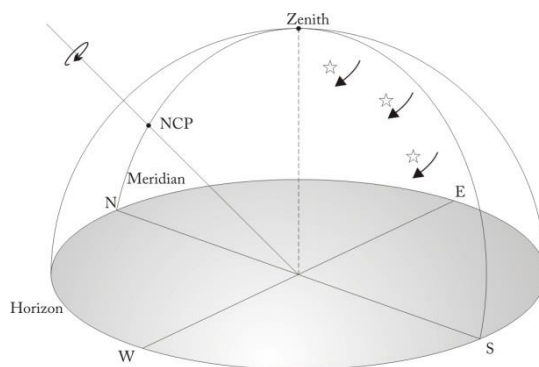
Линија, нормална на хоризонталну раван пробија небеску сферу у тачки коју зовемо ЗЕНИТ (слика 3в). Линија од места посматрача према Северном небеском полу је следећа важна линија. Раван, одређена нормалом на хоризонталну раван и линијом од посматрачеве позиције према Северном небеском полу одређује локалну меридијалну раван. Пресек ове равни са небеском сфером одређује локални небески меридијан. Пресек локалне меридијалне равни и равни хоризонта, дефинише локални географски меридијан. Та линија је у исто време пројекција на хоризонталну површину линије од положаја посматрача до NCP (North Celestial Pole-Северни небески пол).



а)



б)

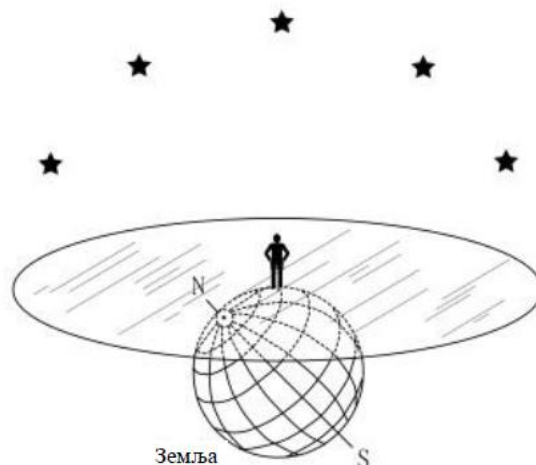


в)

**Слика 3.** (а) Фараон Акхенатен и његова фамилија у обожавању Египатског соларног божанства Атен-диска Сунца [35]. (Репродуковано на основу сагласности коју су добили аутори чланка [21]\* од сајта Wikipedia [34], где ју је учинио доступном Магнус Манске под лиценцом CC BY-SA 2.0). (б) Сунце у рукама Јелене Бањац, победнице такмичења „Тражење талената за физику“ одржаног 2005. у Србији и победница Кодаковог фото - такмичења у 2006. (Са љубазном дозволом Друштва физичара Србије, издавача часописа Млади физичар). (в) Небеска сфера изнад локалног хоризонта посматрача.

Сви ови концепти формиран су када је доминирала идеја Земље као плоче и они остају важни и корисни током развоја идеје и знања о Земљи као сфери (лопти). Раван хоризонта остала је важан концепт зато што се равна хоризонта подудару са равни која додирује сферну Земљу на месту посматрача (слика 4).





**Слика 4.** Посматрач стоји на Земљи, гледајући у небо. Локална равна хоризонта је тангентна на Земљу испод посматрача [21, 60]. Линеја нормална на равна хоризонта води ка зениту. Њен продужетак према центру сферне Земље лежи дуж радијуса који повезује центар Земље и положај посматрача. Линеја од положаја посматрача до NCP (Северног небеског пола) је веома добра апроксимација линеје која повезује центар Земље и NCP, односно Земљину осу југ-север. Оса југ-север је у ствари Земљина оса ротације.

Ови концепти су неопходни и довољни да би се поставио глобус у такав положај да има исту оријентацију у васиони као Земља, односно да постане ДИНГ. Тангентна равна Дан, Ноћ и Година Глобус-а у тачки глобуса која представља место на коме се ДИНГ налази треба да буде паралелна са равни хоризонта на томе месту (види слику 4(б) у [2]). Ово значи да тачка на ДИНГ-у, која представља његово место на Земљи, треба да буде на врху. На пример, Реховот је на врху ДИНГ-а, постављеног у Вајцмановом институту у Израелу [34, 54], а Рим је на врху ДИНГ-а постављеног на Тре Универзитету (Tre University) у Риму [61].

Оса Југ - Север ДИНГ-а, треба да буде паралелна са Земљином Југ - Север осом да би он био нагнут у односу на хоризонталну равна, под углом једнаким географској ширини места. Његова пројекција на хоризонталну равна, лежи дуж локалног географског меридијана. Ово обезбеђује практичан метод за исправну оријентацију осе ДИНГ-а.

### 7.3. Откриће скафеа и мерење величине Земље

Из горњег описа, јасно је да је ДИНГ веома користан у настави о томе како су се појмови, повезани са идејом Земље као плоче, развили у појмове везане за сферни облик Земље. Поред тога, ДИНГ је веома користан у визуелизацији ових појмова и у њиховом коришћењу у настави и учењу како је текао напредак у размишљању о величини Земље до кога је дошло у трећем веку пре нове ере. Захваљујући Аристарховим побољшањима инструмента гномона - мерача сенке, Ератостен није само поставио идеју лоптасте Земље, него је и измислио метод за одређивање њеног обима [62, 63].

Гномон је без сумње био познат Халдејцима и древним Египћанима, Анаксимандру (611 - 546 п. н. е.), као и његовом ученику Анаксимену. Гномон се састоји од зашиљеног штапа који стоји нормално на хоризонталну равна на коју баца своју сенку (слика 5а). Дужина и смер сенке се мења током дана, при чему су они користили овај феномен да мере време.

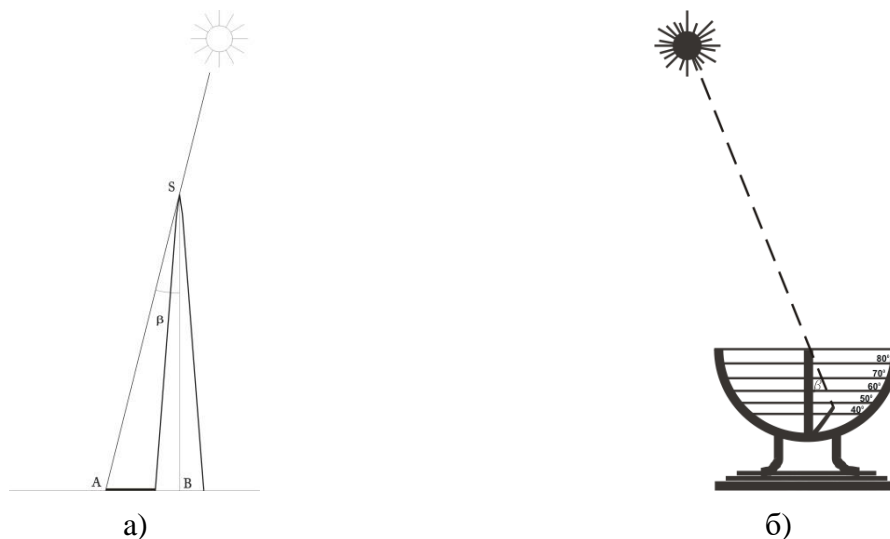
Аристарх са Самоса (~ 310 - 230 п. н. е.) је побољшао гномон, тако што је заменио хоризонталну равна полусферном посудом-скафеом (слика 5б), и ставио у његову најнижу унутрашњу тачку, штап чија је дужина једнака полупречнику тако да је нормалан на равна, на коју је посуда постављена. Концентричне кружнице на једнаким растојањима, нацртане око

штапа на унутрашњој површини посуде, формирају скалу, на којој се Сунчева висина директно читава из његове сенке.

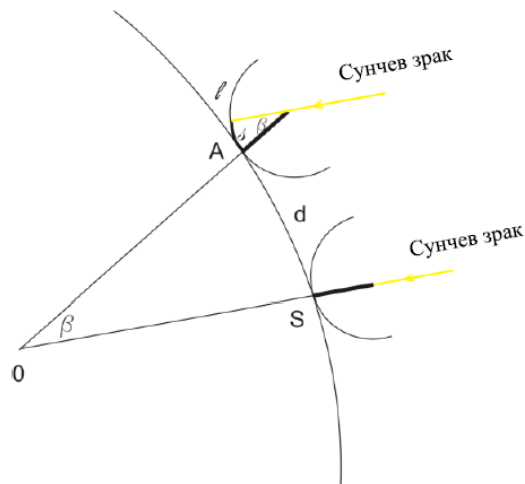
Овај изум је од великог значаја, јер је био претеча свим инструментима за мерење угла са обележеном скалом [59]. Скафе се такође користио за одређивање географске ширине места. На дан равнодневице, подневно Сунце не баца сенку на екватору. Стога, угаона дужина Сунчеве сенке на било ком другом месту, тога дана када је Сунце у зениту, даје угаоно растојање од тог места до екватора, односно даје његову географску ширину.

Из Клеомедесовог приказа (први век после нове ере) мерења Земљиног обима које је урадио Ератостен (око 200 година пре нове ере), сада је познато [59, 62, 63], да је Ератостен користио скафе у свом мерењу. Ератостен (~ 284 - 194 п. н. е.), директор познате Александријске библиотеке, сазнао је из књига, да у Сијени у време летњег солстиција у локално Сунчево подне, Сунце осветљава дно бунара. То значи да Сунце у то време не ствара сенку на усправном објекту. Ератостен је знао да је географска ширина Сијене (данас Асуан) у Јужном Египту била нешто мања од географске ширине Северног Повратника.

Узевши у обзир да Александрија и Сијена леже на истом меридијану [63], посматрао је сенке стубова у Александрији током следећег летњег солстиција и измерио је тога дана угао  $\beta$  коришћењем скафеа (слике 5 б и 6). Према Клеомедесу [63], Ератостен је утврдио да је угао  $\beta$  једна педесетина пуног круга ( $\beta = 7^\circ 12' = 7,2^\circ$ , као што пишемо данас). Тако да: „Ма колики да је однос лука у скафеу и целог круга, лук од Сијене до Александрије у односу на обим Земље има исту вредност. Нађено је да угао у скафеу износи једну педесетину целог круга. Онда је нужно да је интервал од Сијене до Александрије педесети део великог круга Земље, а овај износи 5000 стадија. Стога, цео круг постаје 25 десетина хиљада (250000) стадија“ [62].



**Слика 5.** Мерење Сунчеве висине коришћењем: (а) обелиска (вертикалног гномона) и (б) гномона у полулоптастој посуду (хемисферичној) са скалом. Коришћењем математичких симбола (слика б) и релација ово размишљање се може написати како следи:  $s/2l = d/O$ , где је  $O$  Земљин обим. Ератостен је открио да је угао у скафеу, био једна педестина дела целог круга, односно  $s/2l = 1/50$ . Одакле је,  $d/O = 1/50$ . Узимајући у обзир да је:  $d = 5000$  стадија, цео круг постаје  $O = 250000$  стадија.



**Слика 6.** Приказ Ератостенове процедуре сличан илустрацији у Вировом-овом преводу [62] са грчког Клеомедесовог описа Ератостеновог мерења.

Ми данас не знамо тачно колико је растојање стадиј значило Ератостену. На основу садашњих вредности грчких стадија, морао је износити негде око  $1/6$  km [64], тако да су вредности горњих величина  $d = (5000/6)$  km = 833,3 km и  $O = 50 d = 41665$  km. Ова вредност за  $O$  је јако блиска савременој вредности која износи мало изнад 40000 km.

На основу прилично једноставног модела Земљиног осунчавања, В. Бабовић и М. Бабовић [65] су уопштили Ератостенов метод и извели нову формулу за одређивање дужине године за све планете са довољно малим ексцентрицитетом орбите. Ератостеново мерење и историјски научни процес који је водио до њега, је идеалан пример који показује да „историјски пут често промовише динамичан поглед на науку, и да је исти користан за увођење учења које се заснива на истраживачком учењу путем решавања проблема“ [66].

Многи сараднички образовни пројекти и активности су остварени од 1996. када је четворо студената предложило њиховом наставнику наука Карен Нишимото, у Пунахју школи у Хонолулу, Хаваји, да ураде нешто слично Ератостеновом експерименту, као њихов годишњи научни пројекат [67].

Мелани, Алекс, Елис и Кавика су извели прави експеримент на бази постављања питања. Експеримент су морали да изведу током зиме, а ниједна од седам школа које су контактирали није била на правцу северно или јужно, од Хаваја. Да би нашли одговоре на своја питања, студенти су консултовали Арноа Пензијаса, добитника Нобелове награде и водећег истраживача у Беловим лабораторијама у то време. Тада, интернет још увек није био приступачан, тако да су студенти скупљали податке од сарадничких школа путем електронске поште.

Почевши од септембра 2000. хиљаде ученика и студената узраста од 8 до 14 година, мерили су Земљин обим посматрањем сенке вертикалног штапа у соларно подне током предавања у школи. Размењивали су податке са сарадничким школама путем интернета, и стављали своје резултате на интернет страници пројекта „Пратећи кораке Ератостена“ [4, 68].

2180 студената из 89 школа у 5 различитих земаља (Финска, Пољска, Србија, Грчка и Египат) су извели Ератостенов експеримент у истом дану у оквиру међународне Европске научно - образовне мултинационалне иницијативе (акроним OSR). Радне групе од 4 и више студента скупљали су резултате мерења и стављали на своје школске сајтове, који одабиром покривају око 30 степени географске ширине [69].

Анализе јасно показују више прецизности, што су места мерења више удаљена (унутар Грчке 17,6% грешка; Грчка - Финска:1,3% грешка). Резултате мерења по методу Ератостена са посматрачима који су били лоцирани у Аустралији и Новом Зеланду су публиковали Логхорн и Хјуз [70].

За будуће истраживачке пројекте који се заснивају на Ератостеновом мерењу имамо три предлога:

а) Студенти би требало да почну да користе скафе поред гномона. Коришћењем скафеа, експеримент би био јако близу оригиналном, како су нагласили Декамп и Хосон [63]. Поред овога, студенти би научили како се угломер почео користити за мерење угла. Студенти би разумели да није неопходно користити тригонометрију да би се измерио угао који Сунчеви зраци образују са гномоном.

б) Познавајући Архимедову релацију између обима круга и његовог радијуса  $O/R = 2\pi$ , лако се може наћи вредност Земљиног радијуса која следи из Ератостеновог резултата,  $R = 6631\text{km}$ . Ова вредност је блиска вредности  $R = 6370\text{ km}$  средњег радијуса Земље, одређеног модерним техникама.

Али, јавља се интересантно историјско питање: Да ли је Ератостен знао за Архимедову релацију? Тражење одговора на ово питање кроз образовне пројекте мотивисане проблемским начином истраживања уз усвајање знања, било би интересантно, корисно и стимулишуће.

с) Визуелизирање Ератостеновог резоновања, коришћењем ДИНГ-а на коме се поставе штапићи на неколико места дуж меридијана посматрача.

#### **7.4. Пресликавање Земљине дневне ротације на ДИНГ**

Најважнија особина ДИНГ-а је, да је његово осветљавање Сунчевим зрацима, аналогно осветљавању целе Земље Сунчевим зрацима. Можемо рећи да постоји пресликавање између осунчавања Земље и осунчавања ДИНГ-а. Захваљујући томе, посматрањем промена осветљености ДИНГ-а током дана и током године, ученици могу истовремено да прате ефекте дневне ротације Земље и годишње револуције око Сунца који се реално испољавају на целој Земљи.

Из овога је јасно да ДИНГ има много предности у односу на дводимензионалне цртеже који представљају ове ефекте у стандардним књигама. Шостак је нагласио [5] да је ово искуство веома важно за студенте (ученике), зато што оно директно показује да појаве које се дешавају на великој скали у васиони могу бити проучаване и схваћене посматрањем појава у локалној лабораторији и околини на Земљи (проширеној лабораторији на отвореном).

У сваком тренутку, током сунчаног дана, студенти могу посматрати тренутни положај дан - ноћ линије (кружнице) на Земљи (слика 1), односно где је зора, а где Сунце залази за хоризонт. Праћењем кретања терминатора (кружнице) по површини ДИНГ-а, они могу видети ефекат Земљине ротације око сопствене осе, који је аналоган ефекту који се може видети посматрањем Земље из сателита. Мерењем колико се брзо помера терминатор дан -ноћ, студенти могу израчунати Земљину угаону брзину.

Студенти такође могу пратити како промене извесних оптичких величина, које су везане са њеном ротацијом, зависе од места на Земљи. Добри примери ових величина су дужине и правци сенки вертикалних штапића причвршћених дуж екватора ДИНГ-а (слика 7). Због тога, ДИНГ са штапићима дуж екватора или са покретним луком (слика 8) служи као глобусни односно сунчани часовник.

#### 7.4.1. ДИНГ са штапићима дуж екватора или са покретним луком - глобусни/сферни сунчани часовник.

Сферни сунчани часовник постављен 2006. године у близини опсерваторије «Мах Валиер» у Италији (Schwarzinger 2006) је у ствари Дан, Ноћ и Година Глобус са металним штапићима дуж екватора [71]. На сваких  $15^\circ$  географске ширине, налази се штапић, а такође и штапић у пресеку локалног меридијана и екватора. „Уради сам“ реализација овог сферног сунчаног часовника [13] је приказана на слици 7. У овој верзији на слици, сферни часовник „уради сам“ је са штапићима причвршћеним на упореднику који је мало јужније од екватора.

Сенке штапића показују да ли је Сунце на северу или југу у односу на екватор. На равнодневицу, сенке свих штапића падају дуж екватора. Сенка било ког штапића је најкраћа у локално подне, када Сунце „прође кроз локалну меридијалну раван“ и достиже највишу тачку на небу. У том тренутку, Сунчеви зраци леже у локалној меридијалној равни (слика 9) Сунце је на југу. Уз помоћ сенки штапића, може се приближно одредити локално соларно време. Тренутно сунчано време на сферном сунчаном часовник се може прочитати уочавањем штапића са најкраћом сенком и читавањем његовог лонгитудиналног (угаоног) растојања од „локалног“ меридијана.



**Слика 7.** Надуван глобусни/сферни сунчани часовник „уради сам“ са штапићима причвршћеним на упореднику који је мало јужније од екватора. Ова верзија надуваног глобусног часовника је слична верзији сферног сунчаног часовника који је изграђен од мермера у близини „Макс Валиер“ („Мах Valier“) Опсерваторије у Италији [71].

Лонгитудинално растојање је повезано са угаоним растојањем између меридијана посматрача и меридијана чија раван садржи Сунце. У астрономији, она се назива часовни угао (слика 9). Часовни угао је нула у сунчево подне (12.00 сати). Часовни угао порасте за  $15^\circ$  сваког сата.

Постоји инструментална грешка у читавању на глобусу са штапићима дуж екватора, узрокована чињеницом да је угаоно растојање штапића  $15^\circ$ . У случају Цеферсоновог сунчаног часовника (слика 8) овај тип грешке је смањен, зато што овај часовник има покретан лук уместо непокретних штапића. Тренутно сунчево време се одређује окретањем лука (од танког гвозденог лима) причвршћеног за северни и јужни пол. Лук се ротира око поларне осе, све док његова сенка на сфери не постане најкраћа. На тај начин је одређен меридијан (географска дужина - лонгитуда) где је соларно подне у том тренутку.



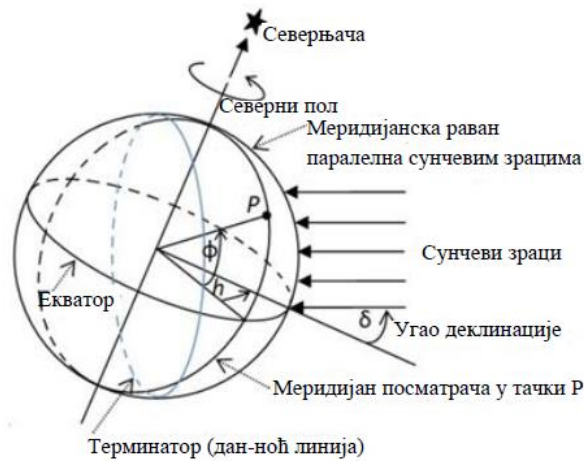
**Слика 8.** Цеферсонов сферни сунчани часовник произведен у Монтичелу 2001. Постављен је на постаменту који је дизајнирао Латроб, за стубове предворја одаја Сената у Вашингтону.

Упркос чињеници да је једноставно разумети функционисање и баждарење сферног/глобусног сунчаног часовника други типови сунчаних часовника, су били и још увек су много више распрострањени по целом свету. Скале широко распрострањених сунчаних часовника нису равномерне; оне зависе од места на Земљи и обично је неопходно применити геометрију у простору, тригонометрију и понекад сферну тригонометрију да би се одредиле њихове скале [72 -74, 76].

Глобусни сунчани часовник има предности у односу на друге типове сунчаних часовника, не само због своје једноставности већ и зато што је користан као полазна тачка у учењу историје и принципа функционисања сунчаних часовника, као и у олакшавању разумевања метода одређивања скала различитих сунчаних часовника [13]. У расправи о предностима сферног сунчаног часовника Цеферсоново искуство [76, 77] у конструисању и употреби сферног сунчаног часовника је посебно интересантно.

Цеферсонов сферни сунчани часовник је направљен у Монтичелу од стране Цеферсона, негде између августа 1809. и септембра 1816. [77]. 1806. године архитекта Бенџамин Хенри Латроб послао је Цеферсону (тада већ пензионисаном председнику) у правој величини модел капитала који је дизајнирао за стубове у предворју одаја Сената у Вашингтону и хоризонтални сунчани часовник од Пенсилванијског мермера, одговарајуће величине да се постави на капитал.

1816. године, Цеферсон је послао Латробу скицу свог лично дизајнираног сунчаног часовника постављеног на Латробов капитал употребљен као постолје [76]. Објаснио је да је до овог открића дошао, захваљујући својим напорима да нађе једноставан метод за одређивање географске дужине Монтичела. У то време, проблем одређивања географске дужине и на земљи и на мору је био изазов широм света, као што је добро описао Бенски [78]. Бенски је такође предложио међународни образовни курс физике на основу метода мерења географске дужине. Латроб се сложио са јединственошћу сферног сунчаног часовника и одговорио: „У вези са Вашим сатом, могу рећи, да су његови принципи толико једноставни, а конструкција лака, тако да се сатови Ваше конструкције могу врло брзо ставити у широку употребу, када једном постану познати и буду уведени“ [77]. Касније, часовник је изгубљен, Томас Цеферсона фондација га је поново направила 2001. године [79].



Слика 9. Деклинација Сунца, часовни угао и дан - ноћ линија. Часовни угао је обележен са  $h$ .

#### 7.4.2. Соларно, звездано и стандардно време, једначина времена.

Корисно је разумети функционисање сферног сунчаног часовника, зато што је чврсто повезан са основном јединицом мерења, средњим сунчаним даном. Средњи сунчани дан је средња вредност преко целе године, сунчаних дана чији је период времена једнак времену током којег Земља изврши једну ротацију у односу на Сунце. Време једне комплетне ротације у односу на Сунце за посматрача на Земљи је време између два узастопна проласка Сунца кроз раван локалног меридијана.

Средњи сунчани дан је основа за примарну временску скалу - универзално време (претходно названо Гриничко време). Универзално време се још увек мери на гриничком меридијану. Ово је 24 - часовни временски систем, према којем дужина дана износи  $24 \text{ h} = 86400 \text{ s}$  (нешто прецизније  $86400,002 \text{ s}$  током скорашњих деценија) а поноћ је у 0 h. У једној средњој години има око 365,2422 сунчаних дана.

Часовно време које ми читавамо у нашем свакодневном животу се заснива на систему стандардних часовних зона које су уведене око 1880. тако да је 12.00 h у подне и да је оно приближно у средини дана, без обзира на географску дужину. Ови географски региони који имају приближно 15 степени географске дужине, у принципу су центрирани око меридијана дуж којег је локално стандардно време једнако средњем сунчевом времену. ДИНГ са чиодама дуж екватора (слика 7) визуелизује овај принцип. Мада, временске зоне често имају необичне облике да би се прилагодиле социјалним, економским и политичким потребама, тако да се може појавити велики број варијација између стандардног времена и средњег сунчевог времена.

Два ефекта доприносе варијацији сунчаног дана током његовог кружења у години. Први ефекат је узрокован варијацијама Земљине орбиталне брзине дуж орбите. Други ефекат је узрокован нагибом Земљине осе у односу на еклиптику. Заједно, ова два ефекта чине да се стварна дужина сунчевих дана разликује до 25 секунди (у оба смера) од 24 h. Пошто се ови ефекти акумулирају током године, у неким данима током године стварно сунчево време се може разликовати чак 17 минута од средњег сунчевог времена.

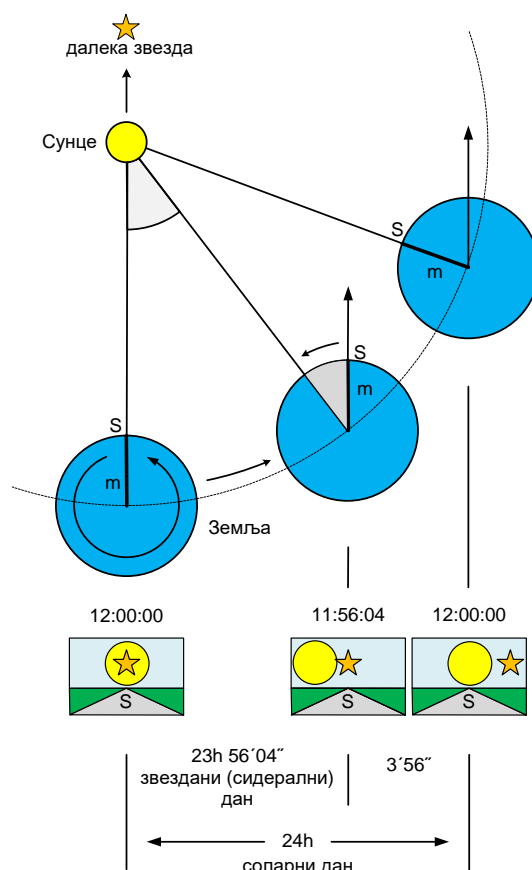
Ова разлика стварног сунчаног времена и средњег сунчевог времена се визуелно приказује на два начина:

- помоћу аналеме
- на графику „једначине времена“.

Аналема је дијаграм који показује положаје Сунца на небу виђене из фиксног положаја на Земљи у исто средње сунчано време током низа дана у години.

На графику „једначине времена“, ордината у свакој тачки једнака је разлици између средњег сунчевог времена (стандардног времена) и стварног сунчевог времена одговарајућег датума.

У астрономији и небеској механици се често користи концепт звезданог или сидералног времена - то је временски интервал који је потребан Земљи да направи целу ротацију, у односу на небеску позадину или удаљену звезду (претпоставимо да је непокретна). Овај период ротације је око 4 min краћи од 24 h (23 h, 56 min и 4,1 s). Дакле, има око 366,2422 звезданих дана у једној средњој тропској години (један звездани дан више од броја сунчаних дана). Разлог зашто је сунчани дан дужи од звезданог дана, лежи у чињеници да је звездани (сидерални) дан одређен једном пуном ротацијом Земље, а соларни дан је одређен пуном ротацијом Земље и њеним кретањем дуж орбите. Док „обилази“ око Сунца, једна ротација враћа непокретног посматрача у положај наспрам звезде; потребно је мало више од пуне ротације да би се посматрач вратио у положај наспрам (у правцу) Сунца (слика 10).



Слика 10. Графички приказ разлика између звезданог и сунчевог дана.

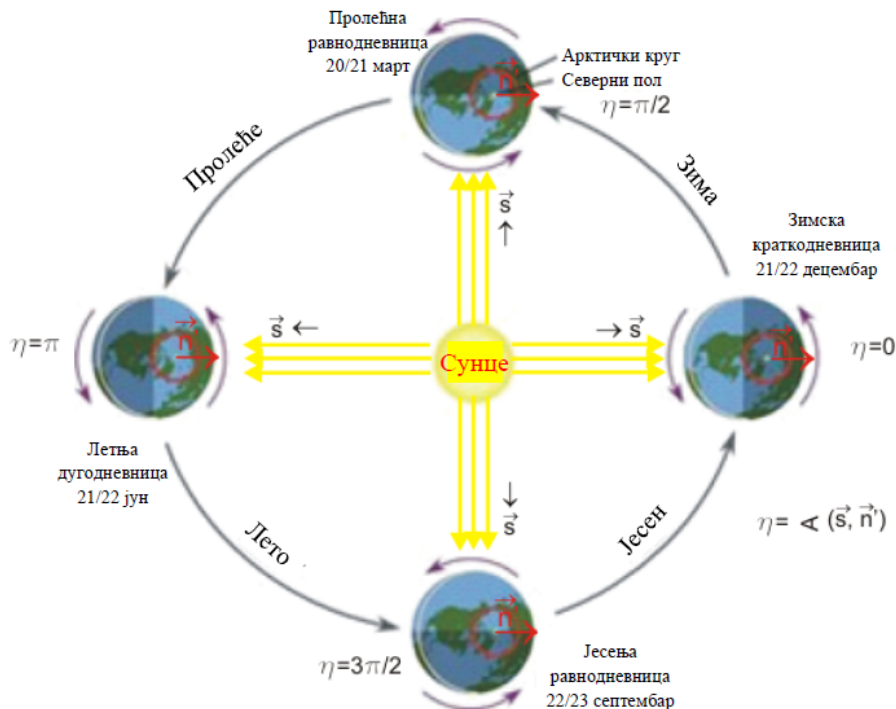
## 7.5 Пресликавање Земљиног орбитног кретања на ДИНГ

Осим ротације око своје осе, Земља орбитира око Сунца [80] у равни коју називамо еклиптика. Угао између Земљине осе и нормале на еклиптику у садашњости износи  $23,5^{\circ}$ . Током орбитирања Земље око Сунца, правац Земљине осе је константан у васиони у веома доброј апроксимацији. Али угао између правца Земљине осе и Сунчевих зрака се мења током кретања. На слици 11, ова промена је представљена пројектовањем на раван еклиптике, где је  $\eta$  угао између правца Сунчевих зрака и пројекције  $\vec{n}'$  Земљине осе на еклиптику. Угао  $\eta$  расте од 0 до  $2\pi$  током једног обиласка Земље. Вредности  $\eta = 0$  и  $\eta = \pi$  одговарају зимском и летњем северном солстицију, респективно. Вредности  $\eta = \pi/2$  и  $\eta = 3\pi/2$  су пролећни и јесењи северни еквиноцији, респективно.

Сунчеви зраци додирују Земљину површину дуж круга осветљености - терминатора (слика 1 и слика 9) који лежи у равни, која је нормална на еклиптику и нормална на Сунчеве зраке. Угао између равни круга осветљености и Земљине осе (слика 9) је једнак деклинацији Сунца.



Деклинација Сунца по дефиницији је једнака углу између Сунчевих зрака (линија која повезује центре Земље и Сунца) и Земљине екваторијалне равни. Овај угао се мења током Земљиног орбиталног кретања (на пример слика 2.15 у [64]). На дан равнодневице, овај угао је нула, Земљина оса лежи у равни круга осветљености. У време летњег солстиција и зимског солстиција, овај угао је једнак  $23,5^0$  и  $-23,5^0$ , респективно. Током других дана, овај угао лежи у интервалу  $[-23,5^0, +23,5^0]$ .



**Слика 11.** Угао између равни круга осветљености и Земљине осе мења се током Земљиног орбиталног кретања, зато што се мења угао  $\eta$  између правца Сунчевих зрака (дуж линије која повезује центре Сунца и Земље) и пројекције  $\vec{n}'$  Земљине осе на еклиптику. Ексцентрицитет Земљине орбите је на овој слици занемарен.

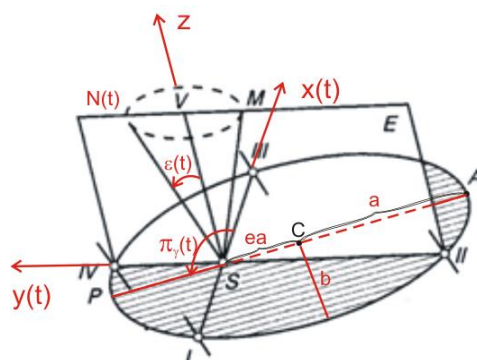
На ДИНГ-у, као малој Земљи, Сунчеви зраци такође оцртавају велику кружницу аналогну кружници осветљености на Земљи. Угао између круга осветљености (терминатора) на ДИНГ-у и његова оса се мења од дана до дана, пратећи описане промене (изложене горе) на Земљи. Тако се Земљина револуција пресликава на ДИНГ и може бити праћена из дана у дан, током године (слике 1 а, 1 б). Студенти и ученици могу мерити овај угао, током сунчаних дана у кретању током године и упоредити мерене величине са величином Сунчеве деклинације публиковане у литератури, као на пример у Астрономском Алманаху.

У стварности, Земљина орбита око Сунца је елипса [60, 81]. Сунце је у једној жижи ове елипсе (слика 12). Жижа  $S$ , лежи на линији која повезује перихел ( $P$ ) и афел ( $A$ ). Ексцентрицитет Земљине орбите је  $e = b/a = 0,0167$ .

Кардиналне тачке означене са I, II, III и IV одговарају пролећној равнодневици, летњој дугодневици, јесењој равнодневици и зимској краткодневици, респективно. Због елиптичног облика орбите, временски интервали између Земљиних пролазака кроз ове тачке нису једнаки. Студенти могу одредити ове интервале мерењем и бележењем угла између равни која садржи линију осунчаности и Земљине осе као функције времена током године (Земљиног положаја на орбити) и ове вредности упоредити са вредностима датим у литератури.

У дугом периоду (десетине хиљада година), кардиналне тачке I, II, III, IV не остају на истом месту дуж орбите, него се померају дуж ње током времена [82, 83]. Ово значи да се релативно растојање између кардиналних тачака и тачке перихела (P) и тачке афела (A), такође, мења. Ово утиче на дужину годишњих доба; летње половине године и зимске половине године. Узрок ових промена су вековне промене параметара Земљиног кретања (ексцентрицитет њене орбите, правац и нагиб њене осе) које су условљене гравитационом интеракцијом између Земље и других планета као и несферични облик Земље. Мало прецизније:

- 1) Земљина дужа полуоса елипсе  $a$  остаје константна, али се њен ексцентрицитет  $e = b/a$  мења квази – периодично. Најважнија промена има период 96000 година.
- 2) Са периодом од 26000 година (Платонова година), оса  $SN(t)$  описује кружни конус, који је приказан на слици 12. Ово кретање те осе изазива промену угла  $\pi_\gamma(t)$  између  $x(t)$  осе и велике осе Земљине елипсе.



**Слика 12.** Илустрација битних параметара Земљине орбите разматраних у [84]. Земљина орбита око Сунца је елипса са Сунцем у једној жижи ове елипсе.  $z$  - оса у положају Сунца је нормална на равни еклиптике.  $z$  - оса и Земљина оса ротације одређују равни  $E$ .  $y$  - оса је дуж пресека ове равни са равни еклиптике.  $x$  - оса је нормална на  $y$  - осу. Кардиналне тачке означене са I, II, III и IV одговарају пролећној равнодневици, летњој дугодневици, јесењој равнодневици и зимској краткодневици, респективно. У садашњем периоду, угао између велике осе елипсе и  $y$ -осе износи  $12,5^\circ$  [85].

- 3) Угао  $\varepsilon = \varepsilon(t)$  који  $SN(t)$  гради са  $z$  - осом – нагиб Земљине осе - се мења са периодом од око 41000 година, и са амплитудом отприлике од  $1,3^\circ$ . Тренутно, нагиб износи приближно неких  $23,5^\circ$ , који је близу средње вредности током периода.

Због тога, Земљина оса није увек усмерена према Северњачи (Polaris), (као што је случај данас). Максимални угао између равни линије осветљености и Земљине осе варира између  $22,1^\circ$  и  $24,5^\circ$ . Промене  $\pi_\gamma$  изазивају промене дужине периода између равнодневица и дугодневица.

## 7.6. Примена ДИНГ-а у предавању о осунчавању Земље и употреби соларне енергије

ДИНГ, као модел Земље, је такође користан у учењу различитих аспеката осунчавања Земље. Током сунчаног дана, могуће је додиривањем осветљене површине осетити да су осветљена места (делови ДИНГ-а) топлија, него страна која је у сенци. Много суптилније промене температуре постоје чак и на површини оне половине глобуса која је осунчана. Ово се уочава додиривањем на екватору и већим географским ширинама дуж истог меридијана. Коришћењем термометра, могу се бројно измерити ове температурне разлике узроковане разликама у углу под којим Сунце пада на површину. На пример, у октобру, дневна светлост на Антарктику траје све дуже и дуже.

У модерно време, студије о осунчавању Земље су веома важне у истраживању климатских промена на Земљи [86] као и у истраживањима ефикасности употребе соларних ћелија [87, 88]. О промени климе на Земљи, постоји стална дискусија између оних који заговарају да је ова промена узрокована деловањем човека и оних који заговарају да су узроци промена природни.

Вековне промене параметара Земљине орбите, изазивају промене осунчавања (количине зрачења које се прима на врху атмосфере Земље), промене физичких механизма одговорних за ширење примљене енергије кроз атмосферу и одговора на површини Земље. Миланковић је проучавао [82] и израчунао детаљно ову корелацију у његовој Математичкој теорији термичких феномена изазваних Сунчевим зрачењем. Вековне промене параметара Земљине орбите, су изазвале вековне промене климе на Земљи, резултирајући периодима ледених доба са интерглатијалним периодима. Од педесетих година прошлог века, скупљено је много података који потврђују Миланковићево објашњење климатских промена током последњих 600000 година [86, 89]. Најважнији су резултати узорака морских седимената на великој дубини публикованих од стране Хејса са сарадницима [84].

У проучавању промене климе Земље, важно је размотрити Земљу као целину и њену везу са Сунцем. У овоме, уважавање ДИНГ-а као елемента подстицајне околине је веома корисно зато што подсећа грађане и студенте да размишљају о њиховој улози у промени климе и како сачувати услове за живот на Земљи. Интензивно истраживање у савремено доба, са циљем развоја ефикасних соларних ћелија, мотивисано је бригом и потребама за обновљивим изворима енергије.

Како би разумели како градити енергетски ефикасне куће и како оптимизовати положаје соларних ћелија, прво се мора предвидети положај Сунца у односу на колектор. Поред тога, релативно кретање Сунца у односу на Земљу допуштаће површинама са различитим оријентацијама да приме (пресретну) различите количине соларне енергије.

Тако је дошло до обнављања интересовања за знање из основа астрономије: положај Сунца на небу, сунчани часовник, кретање Земље дуж орбите, деклинација Сунца итд. Аутори књига и чланака у овом пољу које се развија, наглашавају потребу да визуелизују (користећи рачунарски софтвер) све координатне системе који се користе и геометријске величине, и да користе геометрију, векторску алгебру и матрице ради трансформисања координата из једног координатног система у други [36, 87 - 89]. Ово показује да се визуелизација Земља - Сунце релације сматра неопходном у развоју и употреби соларних енергетских система. Због тога, ДИНГ као визуелно средство у подстицајној околини, може бити веома корисно у настави и учењу о коришћењу снаге Сунца.

### **7.7. ДИНГ са штапићима дуж одабраних меридијана и упоредника и одговарајуће едукационе активности које су развили и користи Роси са сарадницима**

Током истраживања ефикасности наставе физике и астрономије многи истраживачи су документовали, као што је наведено у [90], да студенти/ученици различитог узраста и нивоа образовања имају тешкоће у прихватању и разумевању основних појмова у астрономији. Закључено је да традиционална стратегија и наставна средства нису ефикасни, па су предложене неке нове педагошке секвенце и процедуре учења. У оквиру тих напора, италијански истраживачи Роси (**Rossi**) и коаутори [90] су закључили да је потребно и значајно да се направи прелазни корак између локалног геоцентричног виђења система Земља - Сунце и интерпретација у хелиоцентричном референтном систему. Закључили су да је Паралелни глобус (други назив за ДИНГ) веома погодан наставно средство за постизање тога циља.

Када се традиционални глобус скине са свог постоља и постави на ново постоље које омогућује да се постави у положај како је описано у одељку 7.2, он постаје ДИНГ односно Паралелни глобус. Скидање глобуса са традиционалног постоља и изношење у отворен простор Роси и коаутори су назвали „ослобађање глобуса“ [90].

#### 7.7.1. Планирање и извођење истраживања

Да би ДИНГ постао ефикаснији инструмент за посматрање и праћење промена Земљиног осунчења у реалном времену и са места где је посматрач, Роси и сарадници су проширили идеју примене штапића описану у чланцима [13, 21], као и у одељку 7.4 у овом поглављу. Поставили су штапиће не само дуж екватора, већ и дуж северног и јужног повратника, посматрачевог меридијана, посматрачевог упоредника и северног и јужног поларног круга. Коришћена је глина или пластелин, у који су забадани штапићи (чиоде, ексерчићи или дрвца).

Глобус је осунчан Сунцем на исти начин као и Земља, а штапићи су осветљени Сунцем (слике 7, 13 - 14) као локални вертикални гномони (вертикалан штап, стуб, особа која стоји усправно). Важно је уочити да посматрач поред Паралелног глобуса види све штапиће на њему, баш као што би посматрач у васионском броду видео гномоне који би били постављени дуж екватора, меридијана и упоредника на Земљи. Међутим, посматрач поред гномона на Земљи види само гномон који се налази у његовој близини. На овим чињеницама се заснива тврдња Роси и коаутора да посматрања на Паралелном глобусу представљају педагошки међукорак од геоцентричног ка хелиоцентричном погледу на систем Земља - Сунце.



**Слика 13.** Паралелни глобус у Сесто Сан Ђовани (Sesto San Giovanni  $9^{\circ} 14' 00''$  исток,  $45^{\circ} 32' 00''$  север), близу Милана, Италија. Ову и наредне фотографије су снимили С. Роси и Д. Кало.

Роси и коаутори су предложили посматрање паралелног глобуса током еквиноција и солстиција, најмање три пута у току дана: пре, током и после локалног соларног поднева. Такође су предложили фотографисање паралелног глобуса из четири различита правца и са различитих растојања (слика 14) Овакав план је развијен и реализован током међународног пројекта „Globo Local Project“ који су покренуле 2011. године коауторке Ђордано и Ланчиано са више сарадника [90].



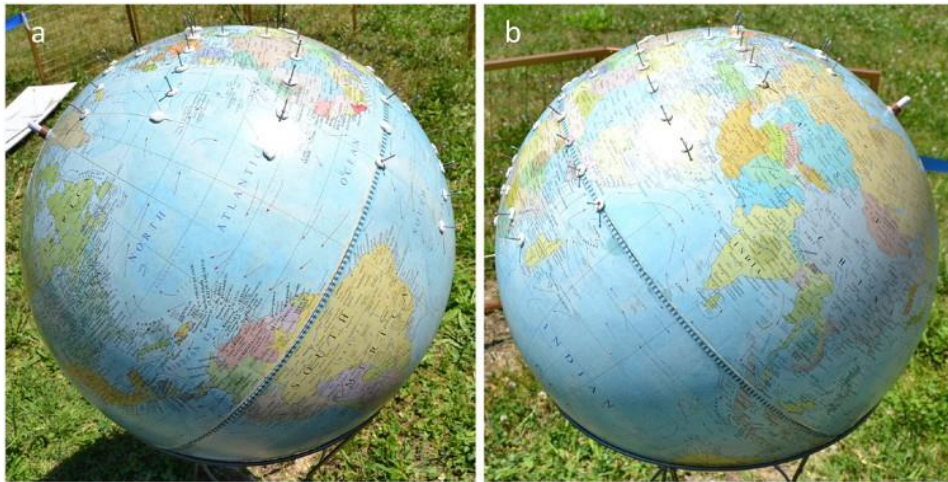
Слика 14. Фотографије сликане око 10 h преподне на дан јунског солстиција, са севера (а), истока (б), југа (ц) и запада (д).

#### 7.7.2. Детаљи визуелизације дневне ротације и годишњег орбитирања Земље на Паралелном глобусу са штапићима

На добијеним снимцима (слике 14 - 17.) анализирани су дневне и годишње промене положаја терминатора и узорка сенки штапића. При посматрању положаја терминатора посматра се ДИНГ/Земља као целина. При посматрању узорка сенки штапића пажња се усмерава на штапиће дуж појединих упоредника и меридијана. Уочене промене веома информативно визуелизују пресликавање дневне ротације и годишњег орбитирања Земље на Паралелни глобус (ДИНГ), како је то описано у чланцима [13, 21\*] и у одељцима 7.4 и 7.5 у овом поглављу.

На слици 14 се види терминатор (скициран плавом бојом на слици 9), чија равна је нормална на правац Сунчевих зрака. Када је 10 h ујутру у Милану, сунчево подне је приближно 30 степени источно од Милана и зато се на снимку са истока види потпуно осветљена страна глобуса. У то време, Сунце излази негде на Атлантском океану између Јужне и Северне Америке и Африке, (ц) и (д), а залази негде на Пацифику (а). На слици 14. а) се може измерити да терминатор на дан летњег солстиција сече меридијан под углом који је приближно једнак  $23,5^{\circ}$ , то јест. углу који Земљина оса заклапа са равни еклиптике, као што је наведено у одељку 7.4 и илустровано на слици 11.

Иако аутори нису написали време снимања слике 14, може се закључити да је снимљена у подне на летњи солстициј (дакле, нешто касније него слика 13), јер су се и источни и западни део терминатора померили ка западу у односу на њихов положај на слици 14. На овој слици је значајно да сенке штапића дуж северног повратника леже дуж повратника, и да штапић који лежи на пресеку тог повратника и локалног Миланског меридијана нема сенку. штапићи источно од тог меридијана имају сенке окренуте ка истоку а штапићи западно од Милана бацају сенке на запад. Дакле, када се посматра иста паралела, сенке су симетричне у односу на подневни меридијан.



**Слика 15.** Терминатор и смена дан-ноћ/ноћ-дан на глобусу (Земљи).

На слици 16 види се дневно кретање терминатора снимљено са севера, такође на дан летњег солстиција. Снимак на слици (а) је пре, а на слици (б) после поднева. Северни део терминатора тангентан је током целог дана на северни поларни круг, а јужни део терминатора на јужни поларни круг. Терминатор се помера са запада на исток брзином  $15^{\circ}/h$  Због тога, угаона амплитуда осветљеног дела сваке паралеле остаје константна током дана као и дужина дана на фиксној географској ширини. Дужина дана се може израчунати дељењем са  $15^{\circ}$  измерене угаоне амплитуде осветљеног дела паралеле. За сваки дан може се израчунати географска ширина на којој је дан краћи или дужи од 12 h. Посебно, може се наћи географска ширина где Сунце никада не излази, нити залази током дана.



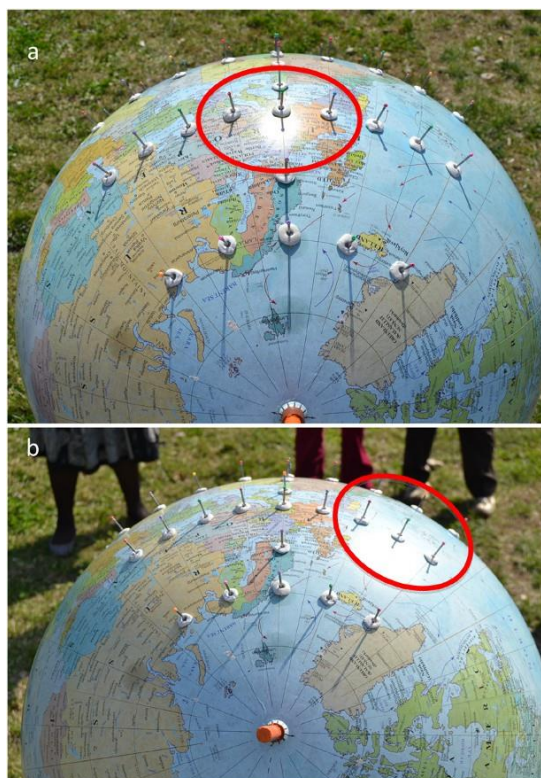
**Слика 16.** Дневно кретање Земљиног терминатора и зависност дужине дана од географске ширине. Посматрајући паралелни глобус током јунског солстиција, пре (а) и после (б) поднева од севера, може се видети да се терминатор помера од истока према западу на сваких  $15^{\circ}$  по часу, остајући тангентан на северни и јужни поларни круг скоро цео дан.

Слика 17 је снимљена у локално соларно подне па је пажња сконцентрисана на сенке стубића дуж локалног меридијана јер те сенке визуелизују прелазак Сунца преко локалног меридијана.



**Слика 17.** Сунчев прелазак преко локалног меридијана (пролазак кроз локалну раван меридијана). Посматрајући величину и правац сваке сенке штапића може се добити информација о положају Сунца за посматрача представљеног тим штапићем. Сви штапићи у локално подне бацају сенке дуж меридијана. Постоји штапић који нема сенку. Тај штапић раздваја штапиће чије сенке су усмерене према Северном полу (а) од штапића чије сенке су усмерене према Јужном полу (б). Тај штапић се налази на географској ширини на којој је Сунце у зениту у подне на дан снимања. Он раздваја географске ширине на којима је највиша тачка Сунца (Сунце кулминира) тога дана ка северу (а) односно ка југу (б).

На сликама 18 а) и 18 б) заокружена су по три штапића и њихове сенке да се истакне како се узорак сенки током времена помера дуж паралеле. Узрок је ротација Земље око своје осе. При томе су све тачке на једној паралели равноправне, и у једној и у другој групи штапића, сенка средњег штапића је дуж локалног меридијана, а западни штапић и источни штапић бацају сенке на запад и исток, респективно. За посматраче на различитим паралелама путања Сунца је различита, што се види поређењем дужине сенки у истом тренутку на различитим паралелама.



**Слика 18.** Сунчев пролазак преко различитих меридијана и зависност Сунчеве путање од географске ширине. Снимањем са севера узорак сенки штапића током јунског солстиција, у подне (а) и после поднева (б), види се да се узорак помера  $15^\circ$  по часу. Поређењем сенки дуж паралеле посматрача пре, током и после локалног соларног поднева, види се да је узорак сенки штапића дуж једне паралеле (иста ширина а различите географске дужине) у одређеном тренутку, идентичан узорку сенки који је произвео један штап током тога дана. Због тога, сви посматрачи на истој паралели виде исту путању Сунца изнад њиховог астрономског хоризонта и имају исти број сунчаних сати.

Роси и сарадници закључују [90] да је веома погодно употребљавати Паралелни глобус при дугорочним посматрањима Сунца изнад локалног хоризонта. При томе је добро користити и софтвер који омогућује да се мења положај и датум/час при посматрању неба. Размена података посматрања и мерења са другим школама широм света је стимулативна. На тај начин се значајно обогаћује феноменолошко знање ученика и ствара глобалан поглед, а да се не губи локална перспектива. Паралелни глобус пружа мноштво могућности да се укаже на комплексност повезаности локалних посматрања и теоријских интерпретација.

### 7.8. Сумарно о ДИНГ-у и закључак

Данас су веома разрађени аргументи о неопходности наставе о природи науке/како наука функционише (Nature Of Science-NOS), то јест у учењу битних својстава процеса развоја научних знања, која би требало да познају сви ученици и грађани [66, 69, 91 - 93]. Аргументује се и да је потребно да школски простор, и уопште простор у коме се учи, буде инспиративан за активно учење, да изазива љубопитљивост и знатижељу и омогућују сарадњу и комуницирање студената [15, 91].

Овде описан глобус на отвореном, који има исту оријентацију као и Земља у васиони (Дан, Ноћ и Година Глобус-ДИНГ), је применљив у овом контексту. Дизајниран и креиран од стране Р. Анати у Врту Науке (Clare Garden of Science) [34, 54], у Израелу, је очигледан пример сазнајне инсталације за школе и универзитетска дворишта [2, 61], као и за научне центре [34].



У 2009. години, ДИНГ је постављен на Тре Универзитету у Риму (Roma Tre University) у част обележавања Међународне године астрономије и назван је Оријентисан Светски Глобус (или Паралелан глобус). Алтаморе је са сарадницима [94] развио скуп образовних активности намењених средњошколцима, који су предложени заинтересованим наставницима. Аутори су показали да је светски оријентисан глобус, моћно средство које омогућава једноставне и импресивне образовне активности за ученике свих узраста. ДИНГ, изграђен од бетона у Центру за професионално усавршавање едукатора (ЦСУ) у Шапцу, Србија (слика 1) је значајно заинтересовао ученике, наставнике, грађане и медије. (ПРИЛОГ 1)

У овом поглављу и у раду [21\*], повезује се историјски развој знања о облику Земље, њеној величини, нагибу према еклиптици, сопственој ротацији и орбиталном кретању, мерењу времена и осунчавању са геофизичким и астрономским концептима визуелизираним на ДИНГ - у. Посебно је разматрано како су Ератостен, Цеферсон и Миланковић користили светски оријентисан глобус у својим истраживањима и открићима.

Ератостен је користио овакав глобус са намером да аргументује да Земља има сферни облик и да одреди њену величину. Сараднички образовни школски пројекти, реализовани током последњих деценија, су показали да је Ератостенов метод идеалан за имплементацију проблемско-истраживачког начина учења.

Цеферсон је користио овај глобус да разматра дневно кретање круга осветљености (терминатора) у циљу мерења времена и одређивања географске дужине Монтичела. ДИНГ са штапићима око екватора или са покретним луком користан је у разумевању функционисања сферног сунчаног часовника, зато што је чврсто повезан са основном јединицом мерења - средњим сунчевим даном.

Оријентација Земљине осе је била кључна за Миланковића, који је проучавао и евалуирао осунчавање Земље и повезао вековне промене климе на Земљи са вековним променама параметара Земљине орбите. У данашње време, визуелизација осунчавања Земље је више него неопходна у проучавању временске зависности осунчаности колектора соларне енергије, на било ком месту на Земљи.

За разлику од астрономије, где су од интереса положаји небеских тела на небеској сфери, у овим истраживањима, од интереса су положаји и оријентације соларних колектора на Земљи. Ово имплицира да ДИНГ може бити користан у настави како саградити енергетски-ефикасне куће и како оптимизирати положаје соларних ћелија.

## 8. Визуелизација својстава квадратне функције на Торичелијевој фонтани

### 8.1. Млазеви из цилиндричне посуде са три отвора у Торичелијевом чланку из 1644. и у уџбеницима физике

У својој књизи, *Opera Geometrica*, Торичели је једно поглавље посветио кретању воде [95]. У том поглављу проучавао је истицање воде из отвора на зиду цилиндричне посуде и објавио два открића:

- 1) почетна брзина млаза из цилиндричне посуде напуњене течношћу се повећава са квадратним кореном дубине отвора;
- 2) скицирао је облик млазева из три отвора на зиду посуде напуњене водом до константне висине  $H$  и одредио њихове домете. Максималан домет на подлози има млаз из отвора на висини  $H/2$ .

У истраживању облика млазева Торичели је користио поменути закон почетних брзина и Галилејев закон слободног пада и кретања пројектила. Прво Торичелијево откриће је данас добро познато у настави физике, под именом Торичелијев закон. Али, скица млазева из посуде је ушла у литературу из физике дуж два пута, за које су аутори рада [22\*] предложили називе „да Винчијев пут“ и „Торичелијев пут“. Дуж „да Винчијевог пута“ едукатори и аутори уџбеника [96] и уџбеници које су цитирали Бизер [97] и Аткин [98] приказују погрешне цртеже млазева, (ПРИЛОГ 4), да би тако на погрешан начин „демонстрирали“ коректан Торичелијев закон. Дуж „Торичелијевог пута“, едукатори указују [97 - 104] да облик и домет млаза зависе од почетне брзине, као и од времена лета млаза.

Коришћењем алгебре и једначина кретања (уместо геометрије, пропорција и наратива које су користили Торичели и Галилеј) показује се следеће. Облик путања, њихове еневелопе, домет и сусрет два млаза на произвољном нивоу, су одређени квадратном функцијом и квадратном једначином. У раду [22\*] и у овом поглављу је представљена детаљна математичка анализа поменутих својстава.

На слици 19, узетој из поглавља о кретању воде у Реф. [95],  $\overline{AB}$  представља зид посуде и Е, Д, С представљају положаје отвора. Први Торичелијев циљ је био да одреди брзину истицања млаза из отвора, нека то буде отвор Е. Претпостављајући да нема отпора ваздуха овом кретању, дошао је до закључка [95, 105, 106], да је брзина млаза у тачки једнака брзини коју би појединачна капљица течности имала када би слободно падала у вакууму са нивоа на коме је површина течности изнад отвора. Ова тврдња је данас позната као Торичелијев закон [95, 104, 105] који се пише у облику

$$v_{x0} = \sqrt{2g\overline{AE}} \quad (1)$$

где је  $g$  гравитационо убрзање.

У савременим курсевима физике и чланцима, једначина (1) се обично изводи из Бернулијеве једначине, уз претпоставку да је проток флуида невискозан а да је отпор ваздуха занемарљив. Ова једначина је написана на два нивоа, и одговара површини воде и отвору.

$$\frac{\rho v_{x0}^2}{2} = \rho g \overline{AE} \quad (2)$$

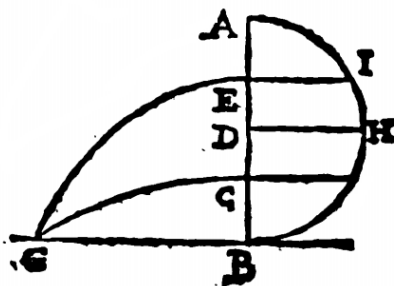
У следећем кораку, Торичели тврди да ће млаз флуида имати параболчан облик и одређује домет  $\overline{GB}$  млаза на нивоу дна цеви. У свом резонувању Торичели се позива [95] на Галилејеву теорију кретања пројектила [107], без цитирања неког специфичног Галилејевог чланка. Требало би да имамо на уму да је Торичели био Галилејев асистент током последња три месеца

Галилејевог живота и да је био именован за његовог наследника на месту великог војводског математичара и на месту шефа катедре за математику на Универзитету у Пизи [108].

Придржавајући се математичких стандарда у бављењу физиком током великог дела 17. века, ни Галилеј, ни Торичели нису користили алгебру, изводе и интеграле. Теорије Галилеја [107] и Торичелија [95] су биле засноване на резултатима неких експеримената, на законима геометрије, пропорцијама, који су дискутоване на латинском [105, 108]. Торичелијев цртеж [95], који подржава његово размишљање о домету млазева из суда је приказан на слици 19, као и у реф. [106]. Он је аналоган цртежу у Галилејевом необјављеном чланку [109, 110] о његовим експериментима о кретању пројектила (види слике 25 и 26 у реф. [111]). У ствари, Торичели је приметио и користио аналогију између два кретања:

а) кретање капљице из отвора на суду и

б) кретање дуж стрме равни на коју је настављен хоризонталан део коначне дужине и слободан пад са краја овог хоризонталног дела, које је проучавао Галилеј [107, 110]. На овај начин, Торичели је био у могућности да констатује: домет млаза на дну суда из посматраног отвора  $E$  је два пута већи од дужи  $\overline{EI}$ . Одатле следи да исти домет има млаз који долази из симетричног отвора  $C$ . Одатле следи да је домет централног млаза максималан и једнак висини стуба воде.



Слика 19. Половина кружнице пречника  $\overline{AB}$  и млазеви из вертикалног суда, које је нацртао Торичели [95]  $AB$  представља површину суда са отворама. Ниво воде се одржава константним на нивоу  $A$ .

Извођење горе наведених Торичелијевих тврдњи, користећи алгебру, геометрију и диференцијалне једначине кретања, би било, као што следи. Кренућемо од Питагорине теореме за троугао  $\Delta EDI$

$$\overline{ED}^2 + \overline{EI}^2 = \overline{AD}^2 \quad (3)$$

Из (3) и очигледне геометријске релације са слике 19, следи

$$\overline{EI} = \sqrt{(\overline{AD} - \overline{ED})(\overline{AD} + \overline{ED})} = \sqrt{\overline{AE} \overline{EB}} \quad (4)$$

Време слободног пада капљице из отвора  $E$  дато је једначином слободног пада

$$t = \sqrt{\frac{2\overline{EB}}{g}} \quad (5)$$

Кретање дуж хоризонталног правца је са константном брзином. Због тога је домет капљице на доњем нивоу:

$$\overline{GB} = v_{x0}t = 2\sqrt{\overline{EB} \overline{AE}} = 2\overline{EI} \quad (6)$$

у складу са Торичелијевом тврдњом.

## 8.2. Торичелијева фонтана у парковима науке и школском простору

Описујући како је коришћење воде и ваздуха током времена довело до развоја наших научних знања, и како приближити механику флуида јавности, [112] Е. Гијон и М. Гијон су приметили:

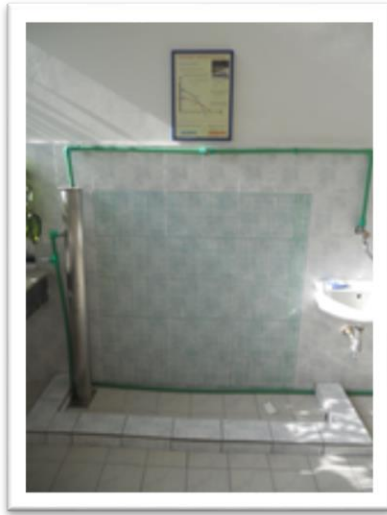
„Водене фонтане и млазеви се и даље граде и представљају омиљену јавну атракцију, али овај, ретко су повезане са њиховим научним значењем, за разлику од Торичелијеве фонтане, приказане на слици 20.“



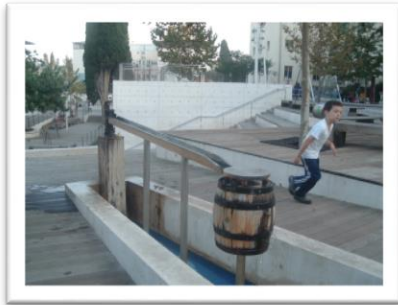
**Слика 20.** На Торичелијевој фонтани, у Центру за стручно усавршавање наставника у Шапцу, Србија [48], јасно се виде три параболична млаза које је описао Торичели.

Торичелијева фонтана је такође инсталирана у ОШ „Ђорђе Крстић“ Београду као поучна инсталација која указује на блиску и плодносну везу математике и физике (слика 21).

У Израелском националном музеју, науке, технологије и свемира у Хаифи, (слика 22) млазеви из бурета падају на површину воде у каналу која је доста испод дна бурета (слика 22 а). У том случају је редослед млазева на тој воденој подлози различит од редоследа млазева (слика 22 а) и б)) у случају када је подлога на висини дна суда. На жалост, табла са објашњењем поред фонтане у Мадатеху (MADATECH) садржи поменути погрешан цртеж (слика 22 ц) Леонарда де Винчија. Тај погрешан цртеж је до дан - данас узор писцима неких уџбеника, као што смо горе навели. У раду [22\*] и у овом поглављу тезе је дата математичка анализа зависности домета млазева од нивоа подлоге.



Слика 21. Торичелијева едукативна фонтана у ОШ „Ђорђе Крстић



а)



б)



ц)

Слика 22. а) и б) Торичелијева едукативна фонтана у Мадатех Израелском Националном Музеју Науке, Технологије и Свемира у Хаифи (MADATECH Israel National Museum of Science Technology and Space, Haifa). ц) Табла са погрешним објашњењем.

### 8.3. Једначина путање капљице

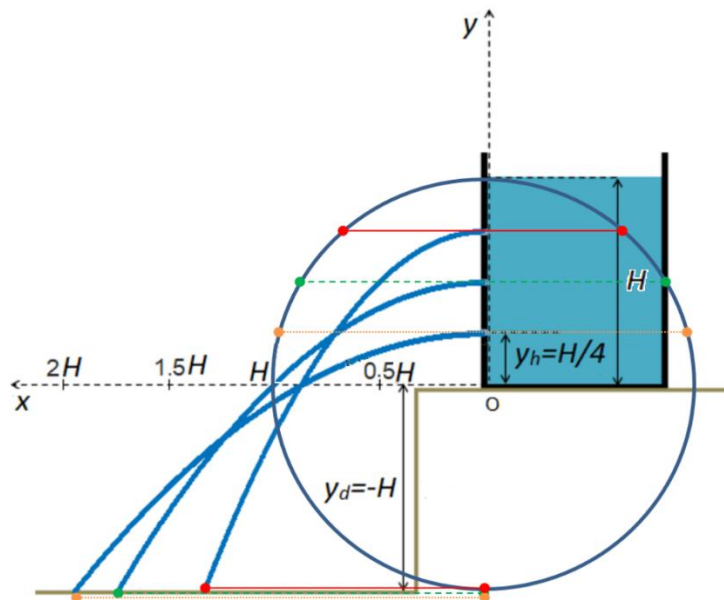
Да бисмо сагледали и уопштили Торичелијево извођење, примењујући алгебру и једначине кретања које се користе у настави физике, на слици 23 цртамо  $(x, y)$  координатни систем и пишемо једначину путање капљице користећи симболе дефинисане на слици. Капљице које излазе образују континуиран млаз и на њих делује гравитационо поље. Компоненте убрзања су:

$$a_x = 0, a_y = -g \quad (7)$$

Претпостављујући да је елемент флуида у тренутку  $t = 0$  на отвору, његове координате у тренутку  $t$  су [103]:

$$x(t) = v_{x0}t, \quad y(t) = y_h - gt^2/2 \quad (8)$$

где је почетна брзина користећи нову ознаку, дата са:



**Слика 23.** У координатном систему  $(x, y)$  нацртане су путање капљица из три отвора на висинама  $y_h = H/4, y_h = H/2, y_h = 3H/4$ . Ниво подлоге је  $y_d = -H$ . Осим трајекторија, конструисан је и круг са пречником дуж ивице суда, тангентан на ниво површине воде и на подлогу. Интересантно је приметити да је домет млаза једнак дужини хоризонталне тетиве која пролази кроз отвор из кога истиче млаз. О овоме ће детаљније бити дискутовано у одељку 8.4.

$$v_{x0} = \sqrt{2g(H - y_h)} \quad (9)$$

Елиминацијом времена  $t$  из једначине (8), добија се једначина трајекторије капљице (једначина млаза)

$$y(x) = y_h - x^2/4(H - y_h) \quad (10)$$

Анализом квадратне функције  $y(x)$  за различите вредности параметра  $y_h$ , описаћемо различита физичка својства млазева. На слици 23, нацртане су три функције/трајекторије изнад нивоа подлоге  $y_d$ , који је различит од нивоа  $y_d = 0$ . То је зато што желимо да нагласимо перцепцију која преовлађује код савремених едукатора [104] и писаца уџбеника, да домет

млаза зависи од избраног нивоа подлоге. Као што ће бити показано, на нивоу и испод нивоа  $y_d = -H$  домети водених млазева су у истом редоследу као и дубине отвора. Ово је и разлог нашег избора нивоа подлоге на слици 23.

Видимо из (10) да је облик трајекторија независан од гравитационог убрзања  $g$ . Ова особина се може разумети, ако кренемо од диференцијалне једначине трајекторије.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{v_y}{v_x} \quad (11)$$

где су  $v_y$  и  $v_x$   $y$ - и  $x$ - компоненте брзине у тачки  $(x, y)$ . Из (8) следи:

$$v_x = v_{x0} \quad , \quad v_y = -\sqrt{2g(y_h - y)} \quad (12)$$

Због тога:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{v_y}{v_x} \frac{dy}{dx} = -\frac{\sqrt{y_h - y}}{\sqrt{H - y_h}} \quad (13)$$

Интеграљењем ове једначине добија се једначина (10). Дакле, можемо закључити да облик трајекторија не зависи од  $g$  зато што је одређен количником две брзине слободног пада,  $v_y$  и  $v_x$ .  $v_y$  је брзина слободног пада од отвора до висине са координатом  $y$  (пређено растојање је  $y_h - y$ ).  $v_x$  је брзина слободног пада од површине воде до висине отвора (растојање  $H - y_h$ ).

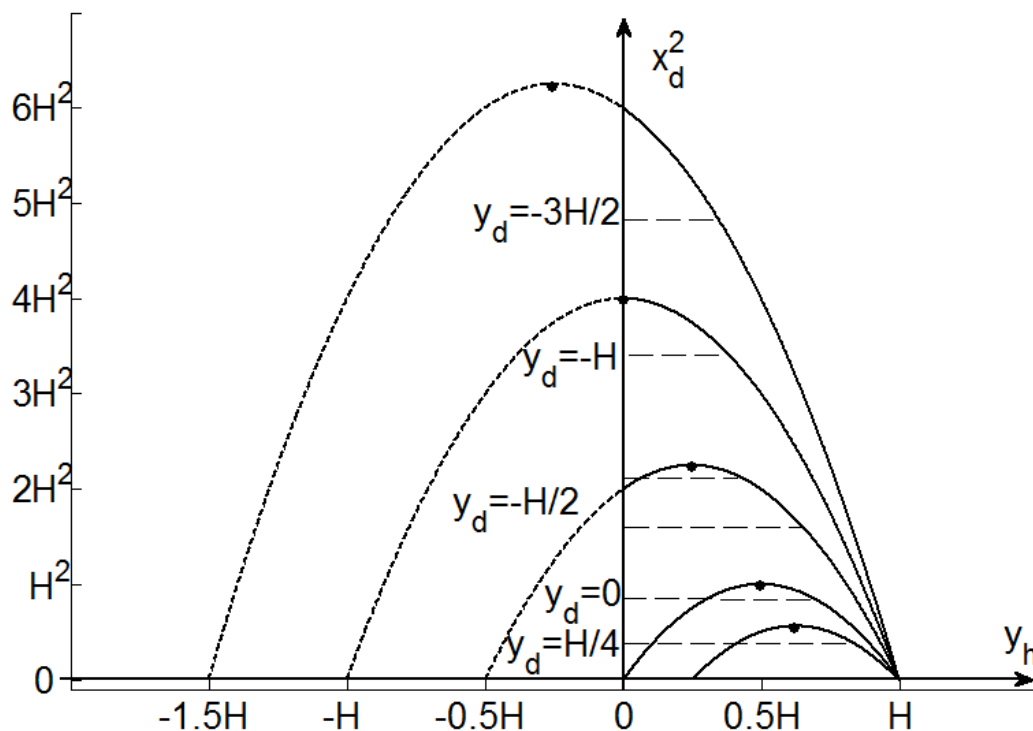
### 8.3. а) Домет млаза

Занима нас како домет млаза,  $x_d$ , на избраном нивоу  $y_d$ , зависи од висине отвора  $y_h$ . Из (10) налазимо да је  $x_d^2(y_h)$  квадратна функција од  $y_h$ :

$$x_d^2(y_h) = -4y_h^2 + 4y_h(H + y_d) - 4Hy_d \quad (14)$$

где је интервал  $y_h \in [0, H]$  од интереса за физику. Ван овог интервала, нема ни воде, ни отвора. Функција  $x_d^2(y_h)$  је позитивна. Представљена је на слици 24, за 5 карактеристичних вредности  $y_d$ , збирно, како за позитивне, тако и за негативне вредности  $y_h$ . Делови параболоа за  $y_h < 0$  су испрекидани.

Може се приметити да све параболое секу  $y_h$  осу у  $y_h \equiv y_{h,1}^0 = H$ . Ово је физички разумљиво. На врху, иницијална брзина је нула, и због тога је домет нула за било који ниво подлоге. Друга тачка пресека параболое зависи од  $y_d$ , и онда је  $y_h \equiv y_{h,2}^0 = y_d$ . Ово је такође физички разумљиво. Од отвора  $y_h = y_d$  време лета до  $y_d$  је нула, последично и домет је нула.



Слика 24. Фамилија параболо која представља функцију  $x_d^2(y_h)$ .

Вредност нивоа  $y_d = -H$  је од посебног интереса, зато што максимум припадајуће параболо (14) лежи на  $x_d^2$  оси, као што видимо на слици 24. Овај максимум има вредност

$$x_d^2 = 4H^2, \quad x_d = 2H \quad (15)$$

За нивое  $y_d < -H$  максимум параболо лежи у интервалу  $y_h < 0$ , где нема ни воде ни отвора. Због тога, на нивоима  $y_d \leq -H$ , домет млаза са дна је увек максималан. Максималан домет је одређен пресеком параболо са  $x_d^2$  осом, то јест:

$$x_{d,max} = x_d = 2\sqrt{-Hy_d}, \quad y_d \leq -H \quad (16)$$

### 8.3. б) Висина млаза чији је домет максималан на задатом нивоу дотока

Коришћењем квадратне функције (14) и графика на слици 24, одредићемо висину отвора из којег је домет млаза на изабраном нивоу подлоге максималан. Максимум квадратне функције (14) је на

$$y_h = \frac{H + y_d}{2} \quad (17)$$

Одговарајућа максимална вредност је:

$$x_{d,max}^2 \left( \frac{H + y_d}{2} \right) = (H - y_d)^2 \Rightarrow x_{d,max} \left( \frac{H + y_d}{2} \right) = H - y_d \quad (18)$$



Узимајући у обзир да су висине отвора у интервалу  $(0, H)$ , овај максимум одређује максимални домет само за:

$$H \geq \frac{H + y_d}{2} \geq 0$$

то јест, за  $H \geq y_d \geq -H$ .

Корисно је проверити да ли се тачке максимума и одговарајућих максималних вредности на параболи на слици 24 слажу са општим формулама (17) и (18). Максимуми на нивоима  $y_d = 0$  и  $y_d = -H$  су од посебног значаја. За  $y_d = 0$ , максимални домет  $x_{d,max} \left(\frac{H}{2}\right) = H$  има млаз из  $y_h = H/2$ . За  $y_d = -H$  максимални домет  $x_{d,max}(0) = 2H$  има млаз из отвора на  $y_h = 0$ .

За нивое  $y_d < -H$  максимум функције  $x_d^2(y_h)$  лежи у области  $y_h < 0$ , а у тој области, та функција је опадајућа. Због тога, је максимални домет млаза одређен пресеком параболе са  $x_d^2$  осом,  $x_{d,max} = x_d(0) = 2\sqrt{-Hy_d}$ . Последице, на нивоима  $y_d \leq -H$ , домет млаза са дна суда је увек максималан.

### 8.3. в) Сусрет два млаза

Са графика на слици 24. видимо да постоје три карактеристична интервала вредности од  $y_d$ :  $y_d \in [0, H)$ ,  $y_d \in [-H, 0)$ ,  $y_d \in (-\infty, -H)$ . Интервали се разликују по броју пресека хоризонталне испекдане линије, нацртане испод максимума, са параболом. У интервалу,  $y_d \in [0, H)$  постоје увек два пресека. У интервалу  $[-H, 0)$  може постојати један или два пресека. У интервалу  $(-\infty, -H)$  постоји само један - једини пресек. Ови пресеци, се одређују из једначине (14), тако што се она напише као квадратна једначина по  $y_h$  за дате  $x_d$  и  $y_d$

$$y_h^2 - y_h(H + y_d) + Hy_d + \frac{x_d^2}{4} = 0 \tag{19}$$

Одређивањем корена једначине (19) можемо одредити висине са којих два млаза стижу у исту тачку на датом нивоу.

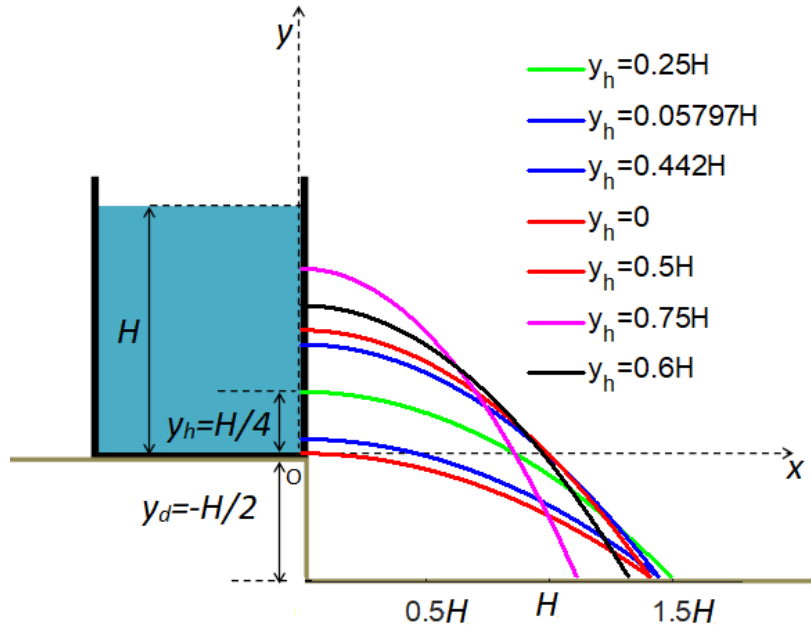
$$y_{h1,h2} = \frac{H + y_d \pm \sqrt{(H - y_d)^2 - x_d^2}}{2} \tag{20}$$

Очекивано, ови корени задовољавају Вијетову формулу.

$$y_{h1} + y_{h2} = H + y_d \tag{21}$$

Од физичког интереса су решења која задовољавају  $0 \leq y_{hi} < H$ . Могуће је алгебарски анализирати решења (20) да би се одредило у којим интервалима од  $y_d$  и  $x_d$  леже позитивна решења. Други начин је разматрање графика на слици 24. Почнимо са графицима за нивое  $0 \leq y_d < H$ . Видимо да за сваку тачку која се налази у интервалу  $x_d \in (0, x_{d,max})$  постоје две висине  $y_h$  са којих се млазеви срећу на нивоу  $y_d$ . У случају нивоа  $-H \leq y_d < 0$ , постоје два карактеристична интервала  $x_d$ . У сваку тачку у интервалу  $x_d \in (2\sqrt{-Hy_d}, H - y_d)$ , долазе два млаза са две висине. У тачке у интервалу  $x_d \in (0, 2\sqrt{-Hy_d})$ , долази само један млаз. На нивоу који задовољава услов  $y_d < -H$ , по један млаз долази у сваку тачку у интервалу  $x_d \in (0, H - y_d)$ .

На слици 25. је представљен скуп трајекторија које досежу ниво  $y_d = -H/2$ . Јасно се може видети интервал тачака до којих долазе два млаза. Млаз који досеже максималан домет је гранични млаз за ове парове млазева.



**Слика 25.** Трајекторије са различитих висина које стижу на ниво  $y_d = -H/2$ . Млаз са висине  $y_h = H/4$ , има максималан домет и он је десна гранична тачка интервала тачака до којих долазе по два млаза.

Лева гранична тачка овог интервала  $x_{d,l}$  је одређена пресеком параболоа на слици 25. са  $y_h = 0$  осом, тако да је,  $x_{d,l} = H\sqrt{2}$ .

На слици 26 је приказан скуп путања који достиже ниво  $y_d = -3H/2$ . До свих тачака на овом нивоу долази само по један млаз. Млаз који има максимални домет почиње на дну суда. ( $y_h = 0$ ).

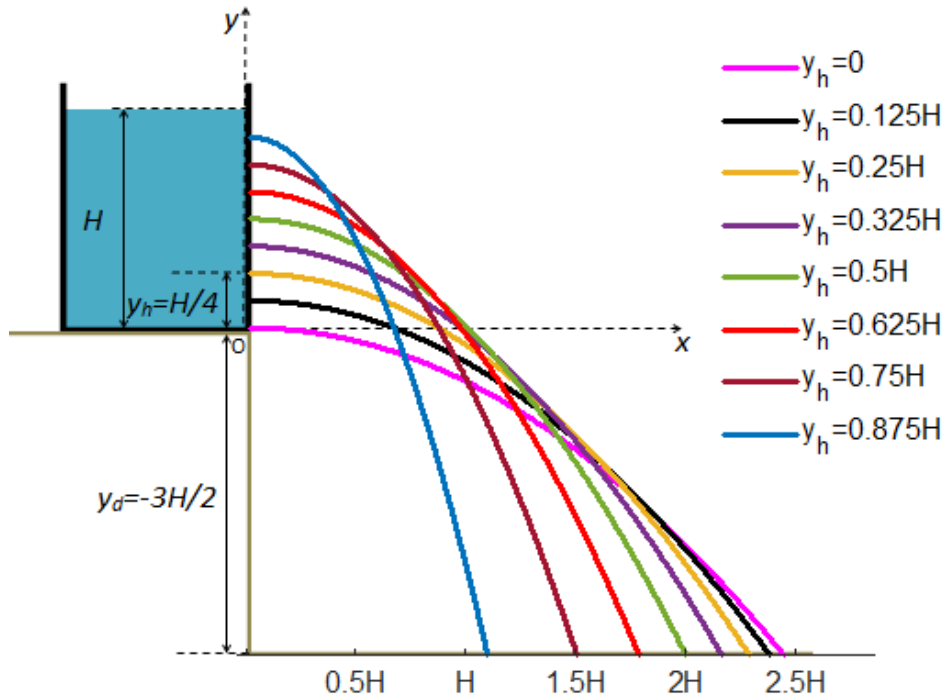
Сада можемо поново написати једначину (21) да бисмо одредили ниво на коме се секу два млаза са две дате висине:

$$y_d = y_{h1} + y_{h2} - H \quad (22)$$

Ако разматрамо дубине отвора  $y'_{hi} = H - y_{hi}$ , уместо висина отвора  $y_{hi}$ , претходна једначина гласи:

$$y'_d = y'_{h1} + y'_{h2} \quad (23)$$

где је  $y'_d = H - y_d$ . Другим речима, дубина на којој се два млаза секу је једнака суми дубина на којима су отвори.



Слика 26. Трајекторије које стижу на ниво  $y_d = -3H/2$ . На овом нивоу, нема тачака у које стижу два млаза. Млаз са дна има највећи домет.

### 8.3. г) Енvelope фамилије трајекторија

Обвојница фамилије кривих/трајекторија пружа додатан увид и информације о њиховим особинама као што су показали Баће и сарадници [113], Хеплер и Елеутерио [114] и други аутори. Први пример обвојнице дугујемо Торичелију који је показао да су све трајекторије из фамилије балистичких трајекторија са истом почетном брзином тангентне у некој тачки једној те истој параболу. Торичели ју је именовао “parabola di sicurezza” (безбедна - сигурна параболо), али је такође добила име и Торичелијева параболо [114].

Трајекторије (параболе) из Торичелијеве цеви су дефинисане једначином (10). Оне почињу на различитим висинама и одређене су различитим почетним брзинама. Да би смо одредили енvelope ове фамилије напишимо једначину (10) у облику

$$4y(H - y_h) = 4y_h(H - y_h) - x^2 \quad (24)$$

н функцију:

$$f(x, y, y_h) \equiv 4yH - 4yy_h - 4y_hH + 4y_h^2 + x^2 = 0 \quad (25)$$

Обвојница је крива која је тангентна на све криве посматране фамилије кривих. Последично, она је одређена следећом једначином

$$\frac{\partial f}{\partial y_h} = -4y - 4H + 8y_h = 0 \quad (26)$$

и једначином (24).

Из (26) следи:

$$y_h = \frac{y + H}{2} \quad (27)$$

Заменом (27) у (25) налазимо релацију

$$2yH - y^2 - H^2 + x^2 = 0 \quad (28)$$

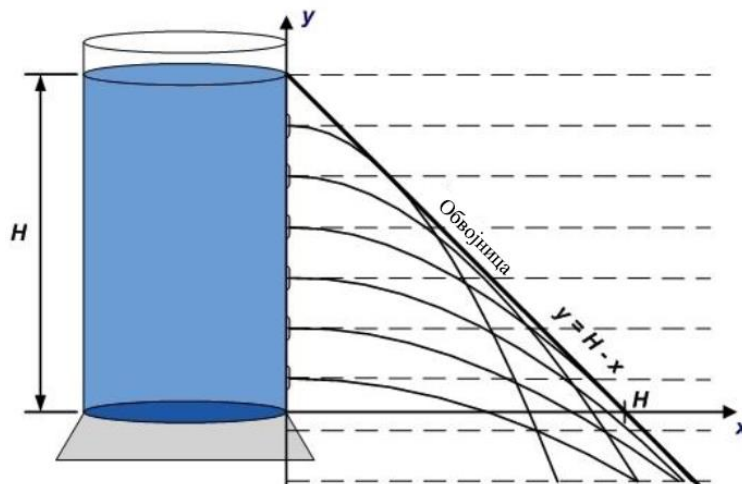
која нас води до:

$$(H - y)^2 = x^2 \quad (29)$$

Из претходне релације следи једначина обвојнице:

$$y = H - x \quad (30)$$

Видимо да је обвојница трајекторија из Торичелијевог суда, права линија. На слици 27. је приказана фамилија трајекторија (путања) заједно са обвојницом.



Слика 27. Фамилија трајекторија млазева и њихова енvelope

Једначина енvelope се може такође наћи методом који у себе не укључује коришћење диференцијалног рачуна. Овај метод препоручен од стране Баћа и и сарадника [113], заснива се на следећим својствима фамилије трајекторија и енvelope:

- а) ниједна трајекторија на посматраној равни не досеже домет већи од „домета“ обвојнице.
- б) пресек обвојнице и посматране равни даје максималан домет који може да досегне само једна трајекторија (путања) из фамилије.

Да бисмо применили метод од Баће и сарадника [113], анализирајмо нашу једначину (20) која нам даје два решења (две висине) из којих млазеви долазе у изабране тачке  $(x_d, y_d)$ . Ова два решења су једнака ако је:

$$(H - y_d)^2 - x_d^2 = 0 \quad (31)$$

то јест, ако је задовољена следећа једначина

$$H - y_d = x_d \quad (32)$$

Евидентно је да је ова једначина иста као једначина (30) енvelope, која је горе изведена. Елиминацијом  $x$  из (30) и (25), ми можемо наћи дубину  $y_t$  где енvelope додирује млаз из  $y_h$

$$(H - y_t)^2 = 4(H - y_h)(y_h - y_t) \quad (33)$$

Лако је проверити да је решење једначине (33) следеће:

$$y_t = 2y_h - H \quad (34)$$

Корисно је поново написати једначину (34) користећи дубине (примоване ознаке) уместо нивоа. Онда, она гласи:

$$y'_t = 2y'_h \quad (35)$$

то јест дубина додира је једнака двострукој дубини отвора.

#### 8.4. Домети млазева и Торичелијеве полукружнице за произвољан ниво подлоге

Коришћењем квадратне функције у једначини (14), можемо уопштити Торичелијев метод за одређивање домета млаза, да би био применљив за **било који ниво подлоге**  $y_d$ . Због овога препишимо једначину (14) у облику:

$$\left(\frac{x_d}{2}\right)^2 + \left(y_h - \frac{H + y_d}{2}\right)^2 = \left(\frac{H - y_d}{2}\right)^2 \quad (36)$$

Ово је једначина кружнице, где су  $x_d/2$  и  $y_h$  координате тачака које леже дуж кружнице. Полупречник и центар кружнице су:

$$r = \frac{H - y_d}{2}$$

и

$$C = \left(0, \frac{H + y_d}{2}\right)$$

респективно.

На сликама 23 и 28 су нацртане трајекторије и полукружнице за пет вредности  $y_d$  изабраних у пет карактеристичних интервала:

$$y_d > 0, \quad y_d = 0, \quad -H < y_d < 0, \quad -H < y_d < 0, \quad y_d = -H, \quad y_d < -H.$$

Скуп хоризонталних линија нацртаних на слици 28 од  $y_h$  линије до било које изабране криве представља уопштење скупа три хоризонталне линије на Торичелијевој слици 19. За  $0 \leq y_d < H$ , за сваку вредност  $y_h > y_d$ , постоји висина  $H - y_h$  чије линије имају исту дужину.

Млазеви који долазе са ове две висине се срећу у истој тачки на нивоу подлоге. Дужина линије са висине

$$\frac{H - y_d}{2}$$

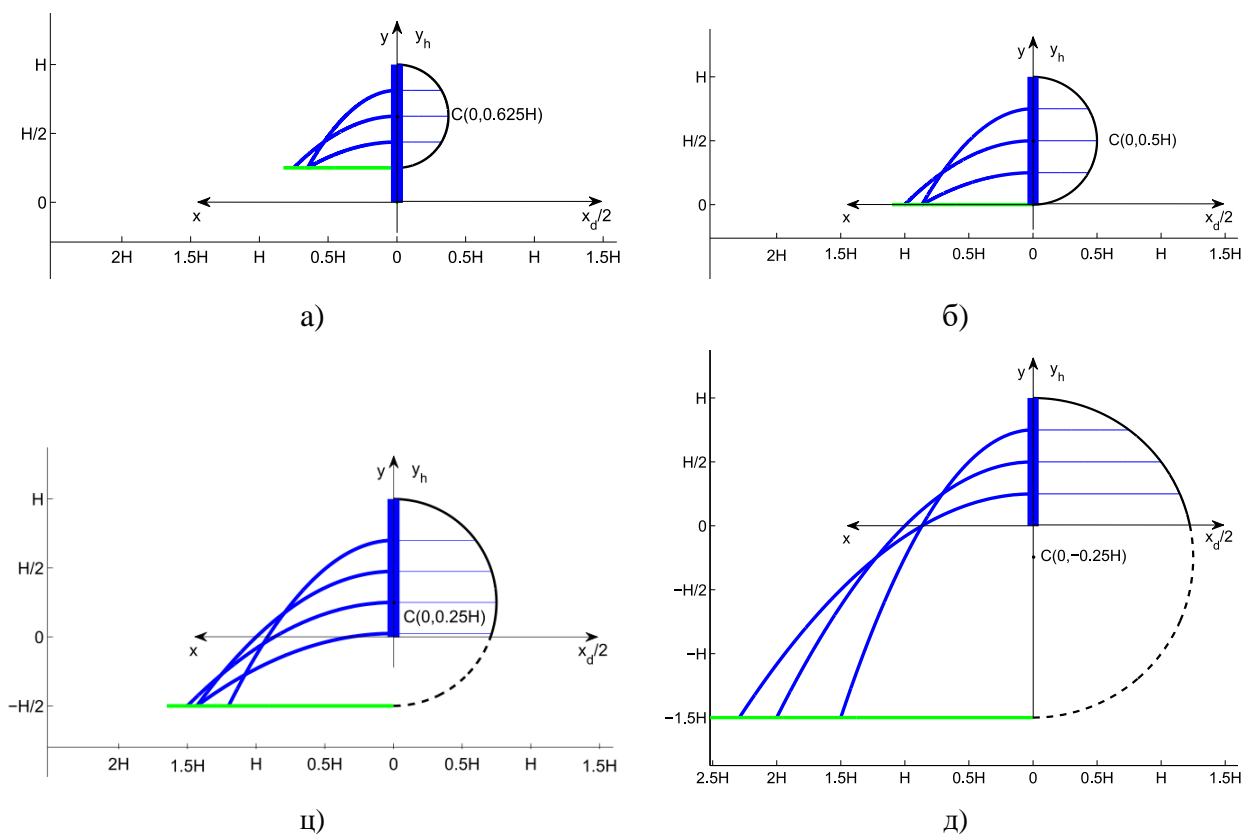
је једнака полупречнику кружнице и одговара максималном домету на том нивоу основе. За

$$y_d = -\frac{H}{2}$$

(као и за било које  $y_d \in (-H, 0)$ ), близу висине  $(H-y_d)/2$  постоје парови висина са истом дужином линија (истим дометом). Али, даље од висине  $(H-y_d)/2$  нема оваквих парова висина.

За  $y_d = -1,5H$  (као и за било коју  $y_d \leq -H$ ) не постоје парови висина са истом дужином линија. Са опадањем висине отвора, дужина линије од  $y_h$  до дела кружнице опада (слика 28 д). Ово има за последицу следеће: ако је ниво подлоге  $y_d \leq -H$  уочићемо да су домети млазева у истом редоследу као што су и дубине отвора.

Зависност домета млаза од висине отвора за различите нивое подлоге је недавно истраживала и графички приказала Лопац [104] у много општијем случају, на различитим облицима посуде: буре, кофа, таласаста ваза.



**Слика 28.** Уопштење Торичелијеве шеме са слике 19 на додатне нивое подлоге  $y_d$ : а)  $y_d = H/4$ , б)  $y_d = 0$ , ц)  $y_d = -H/2$ , д)  $y_d = -3H/2$ . Полукружнице су у  $(x_d/2, y_h)$  координатном систему. Вредности:  $y_d = H/4$ ,  $y_d = -H/2$  и  $y_d = -3H/2$  леже у три карактеристична интервала од  $y_d$ , као што је већ објашњено у тексту изнад. Важност вредности  $y_d = 0$  и  $y_d = -H$  (слика 23) је такође горе објашњена.

### 8.5. Закључак: Торичелијева фонтана је идеална апаратура за демонстрацију и визуелизацију повезаности садржаја у настави математике и физике

У поглављу 8 дисертације и чланку [22], демонстрирана је употребљивост Торичелијеве фонтане у учењу примене математичких могућности квадратне једначине и корена квадратне једначине у физици. Показано је како примена математичког знања о квадратној функцији и [55, 97 - 104, 115, 116] и у уџбеницима физике [117 - 126], о млазевима из Торичелијеве квадратној једначини пружа јединствен поглед на презентације и расправе, у часописима о настави физике фонтане.

Добро је познато да су математика и физика чврсто повезане у плодносно везу. Већ вековима је употреба математике важан део методологије у физици. Истраживачима улога математике у настави физике, даје полазно становиште за став: „Математика је окосница физике. Она обезбеђује језик за концизно изражавање и примену физичких закона и релација. Као наставници физике, ми имамо одговорност да помогнемо нашим ученицима у развијању способности да са лакоћом примењују математику у физици“ - написали су Бинг и Редиш [127]. „Математика је више од алатке за решавање физичких проблема: дискурс у физици је математичке природе“ [128].

Једноставно је направити фотографије реалних млазева као што су презентовали Еткин [98], Слишко и Круз [101], Слишко [10], Планиншич и др. [102], Божић [55], Лопац [104]. Облик путања и друге особине у овим реалним демонстрацијама показују добро слагање са облицима и дометима евалуираним из једначина (10) и (14) и њихове математичке анализе. Због тога, би требало да Торичелијева фонтана буде коришћена за демонстрирање зависности облика и домета млазева од два фактора:

- 1) повећања притиска са дужином флуида и одговарајуће брзине истицања (Торичелијев закон) и
- 2) времена лета капљице од отвора до нивоа подлоге. Са повећањем времена лета, први фактор постаје доминантан. Због тога је, за нивое подлоге испод  $U_d = -H$ , распоред водених млазева у истом редоследу као што су и дубине отвора.

Торичелијева фонтана је идеална апаратура за показивање и визуелизацију везе физике и математике. Ова веза може бити и коришћена за интегрисано учење и подучавање физике и математике (ПРИЛОГ 3) Скретањем пажње на овај аспект Торичелијеве фонтане, очекујемо да ће наставници дати свој допринос смањењу погрешних цртежа водених млазева у уџбеницима и часописима. На овај начин инспиративна аргументација Бада и Сангвина [129] о СТО ЈЕДНОЈ употреби квадратне једначине биће обогаћена.

## **9. Тестирање ученичких знања и способности аргументовања користећи Торичелијеву фонтану**

Као што смо приказали у поглављу 8, млазеви течности из посуда различитог облика привлаче пажњу многих истраживача током векова. На жалост, од славне, погрешне илустрације Леонарда де Винчија до данас, ситуација у вези облика млазева се споро мења. Погрешне илустрације и прикази експеримената у учионици су још увек присутни у савременим уџбеницима за ученике на свим нивоима образовања, како у свету [117, 127], тако и у Србији [118 - 126]. У овом поглављу приказаћемо резултате истраживања о степену разумевања и способности аргументовања које ученици имају о облику млазева из Торичелијеве фонтане. Истраживали смо и могуће факторе који утичу на њихово разумевање, као што су: (а) експеримент изведен у лабораторији за физику, (б) експеримент описан у неком од обично коришћених уџбеника, (в) експеримент који се може видети на ЈуТјуб каналу (YouTube) или (г) концепти и знања стечени током претходних курсева физике. Добијени резултати тестирања показују да се у највећој мери, у претходно стеченом знању ученика налазе корени нетачних одговора.

### **9.1. Торичелијева фонтана у уџбеницима, часописима и школској лабораторији**

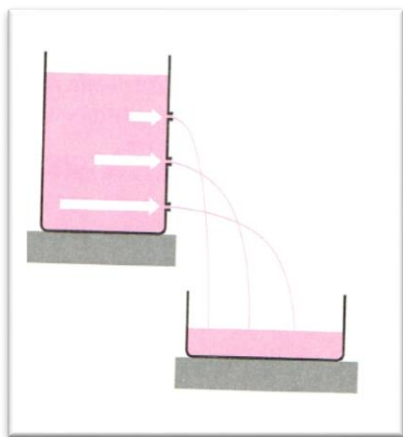
Торичелијева фонтана је интересантна и привлачна посетиоцима у парковима науке, али је њена вредност у образовном систему значајнија, јер омогућује извођење дидактичког експеримента.

У образовном систему у Републици Србији постоје три нивоа образовања, основни, средњи и универзитетски ниво. Физика је обавезан предмет у основношколском образовању од шестог разреда (ученици од 11 или 12 година). У гимназијама, физика се изучава практично у свим разредима (ученици од 15. до 18. године). У неким стручним школама, као што су техничке и медицинске, изучава се најчешће током првог и другог разреда. У већини других средњих школа физика је опциони предмет. Универзитетски ниво је од значаја за ову анализу јер се на Универзитету образују наставници и зато што су универзитетски наставници често писци уџбеника за основне и средње школе. Уџбеници, које користе наставници, и ученици, су прошли вишеструку стручну рецензију и одобрени су од стране Министарства просвете посебним решењима.

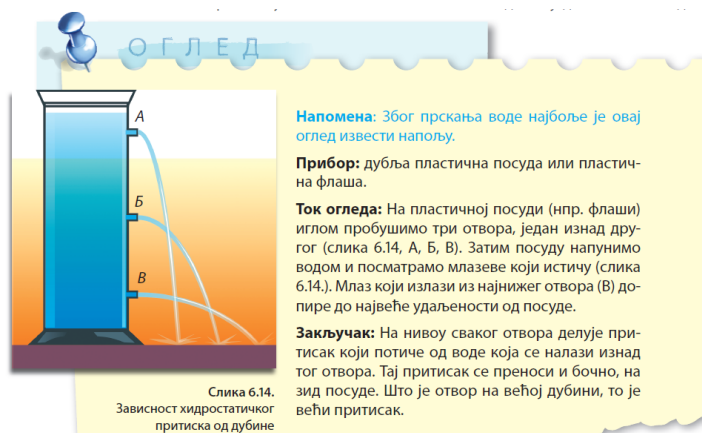
Према програму наставе и учења физике за основне школе у Републици Србији, ученици изучавају механику флуида и хидростатику први пут у 6. разреду. У настави о притиску у флуидима, односно о притиску који врши флуид, се обично користи импровизирана Торичелијева фонтана. Боца се континуирано допуњује водом да би се ниво стуба воде у боци одржавао константним. Фонтана је обично направљена од пластичне боце на чијем зиду постоје дуж вертикалног правца три отвора на подједнаком растојању. Боца се постави на постоље тако да је дно на већој висини од подлоге на коју падају млазеви воде. Ово је важна чињеница, која омогућује да се погрешно интерпретира та демонстрација, а да се стекне утисак да је интерпретација тачна [102].

Уџбеници, као значајно дидактичко средство, би требало да садрже коректан садржај укључујући и илустрације. Због тога смо у вези ове теме извршили анализу уџбеника које је Министарство просвете препоручило за коришћење у основним школама у Републици Србији. Утврдили смо да шест од осам анализираних уџбеника [118, 121, 123-126] (ПРИЛОГ 4) садрже погрешне илустрације фонтане, као што су илустрације на слици 29.





а)



б)

Слика 29. Два примера типичних илустрација из највише коришћених уџбеника у Србији [120, 126].

Најчешће објашњење илустрација у уџбеницима је да се хидростатички притисак повећава сразмерно са дужином мереном од површине течности. Стога, почетна брзина најнижег млаза мора бити највећа, па сходно томе најнижи млаз има највећи домет. У том објашњењу занемарује се чињеница да домет зависи од две величине: почетне брзине млаза и од висине отвора. Ту чињеницу су поред Планиншича [102] истакли и други аутори [114, 119]. Ми смо у чланку [22\*] и у претходном поглављу дали детаљну математички анализу зависности домета од две поменуте величине.

Дакле, то је „знање“ о овом експерименту које ученици стичу у основној школи. Већина њих не добије прилику да чује или прочита коректно објашњење и види коректну слику млазева. Али, погрешне слике водених млазева се не налазе само у уџбеницима у Србији. Као што смо навели у поглављу 8, први и најпознатији цртеж водених млазева потиче од Леонарда де Винчија [102]. Слишко [10, 101] је указао да је коректну скицу млазева Торичели објавио 1644. године [95]. Међутим, током XIX века, је у литератури почела да се шири погрешна слика и погрешно објашњење, које је допрло све до савремене литературе и савремене наставе физике [115 - 117, 130]. Присуство погрешних илустрација је изазвало експериментална и теоријска проучавања која су указивала на уочену некоректност [47, 55, [97 - 104, 131] (Wheeler and Hill 1990). Упркос чињеници да бројни аутори приказују коректно објашњење шеме млазева из експеримента, засновано на механици кретања капљице са почетном брзином под дејством гравитационе силе, погрешне илустрације и објашњења опстају не само у уџбеницима (Dobson, Grace & Lovett, 2002; Knight, 2004; Duncan & Kenneth, 2004) већ се појављују и у педагошким чланцима [132, 133].

Као последица грешака у уџбеницима, страдало је знање ученика. Наиме, испоставило се да је стицање знања из физике искључиво путем предавања, незадовољавајуће и сиромашно [134]. Студенти не стичу функционална знања и способност решавања проблема. Сви би требало да буду свесни да ученици имају различите врсте знања заснованог на искуству и интуицији, а последично и различите погрешне идеје, назване мисконцепције, о многим физичким концептима и феноменима [135].

Истраживање Драјвера [135] и Виеноа [136] представља почетак истраживања мисконцепција. Активно учење кроз имплементацију Предвиди – Посматрај - Објасни секвенцу [137] је засновано на конструктивистичкој теорији учења и може водити до превазилажења идентификованих мисконцепција. Секвенца је заснована на ученичком самосталном размишљању и учењу и укључује три корака. Први корак, Предвиди, значи да би требало да ученици предвиде резултате, на бази претходних знања или интуиције. Следећи, Посматрај, значи да би ученици требало да посматрају демонстрацију појаве, а трећи корак, Објасни,

значи да би студенти требало да понуде исправна објашњења феномена који је демонстриран. Панић и сарадници [138] су проучавали научне концепте и сазнања ученика из механике флуида пре и после наставне активности, засноване на секвеници Предвиди – Дискутуј – Посматрај - Објасни, у којој се посматрају три млаза из Торичелијеве фонтане.

Истраживање које смо ми спровели је засновано на тесту конципираном тако да се сазнају идеје ученика о облику млазева и њиховом домету, и који су извори тих њихових идеја. Циљ је био и да се испита способност ученика да свој избор одговара из скупа понуђених одговора образложе.

## **9.2. Методологија истраживања**

### *9.2.1. Учесници тестирања*

У тестирању је учествовало укупно 207 ученика из регуларних одељења у Шапцу. Од њих, 89 су били ученици основне школе, а 118 су били ученици средње стручне медицинске школе. Ученици из основне школе су имали 13 и 14 година (седми и осми разред), а из средње школе 15 и 16 година (први и други разред). Неки ученици су раније учествовали у радионицама које су обухватале и посматрање и анализирање млазева из Торичелијеве фонтане у Центру за стручно усавршавање наставника у Шапцу. Сви учесници су поседовали само основношколско образовање о Механици флуида. За учеснике у овом истраживању је припремљен доле наведени Упитник.

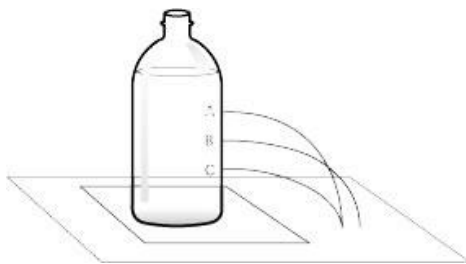
### *9.2.2. Упитник: Како изгледају путање капљица/млазеви који истичу из три отвора на пластичној боци. Који млаз има највећи домет? Образложи.*

На пластичној боци направљена су три једнако удаљена отвора (А, В и С). Најнижи отвор је на истој удаљености од тла, као и удаљеност између отвора. Боца се непрекидно пуни водом, тако да се ниво воде у боци не мења. У једној анкети спроведеној са ученицима није било слагања о томе како треба да изгледају трајекторије капљица/млазеви и који од млазева има највећи хоризонтални домет на нивоу дна флаше. Нађено је да ученици замишљају четири различите могућности за облике путања и хоризонтални домет млазева.

У овој анкети требали је да ученици размотре сваку од понуђених могућности и да аргументовано објасне своје слагање или неслагање. Цртежи су урађени на основу цртежа које су направили ученици у спроведеној анкети. Ако није било другачије назначено, у сваком случају требало је изабрати само један понуђени одговор, „да“ или „не“, и описати аргументе на којима се темељи изабрани одговор. Дакле, свим учесницима је постављено исто питање:

Како изгледају путање млазница које излазе из пластичне боце и који млаз има највећи домет?

**Питање 1.** Средњи млаз (од отвора В) има највећи хоризонтални домет



I – Да ли прихваташ ове облике трајекторија млазева?

(a) Да. (б) Не.

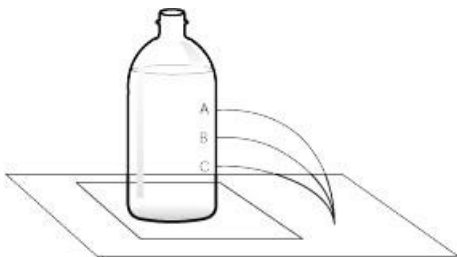
Који су твоји аргументи?

II – Да ли прихваташ да средњи млаз има највећи хоризонталан домет?

(a) Да. (б) Не.

Који су твоји аргументи ? (или како гласи твоје објашњење?)

**Питање 2.** Да ли сви млазеви имају исти хоризонталан домет?



I - Да ли прихваташ ове облике трајекторија млазева.

(a) Да. (б) Не.

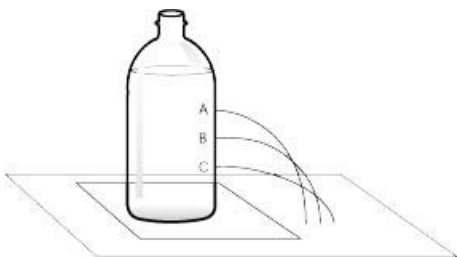
Који су твоји аргументи?

II – Да ли прихваташ да сви млазеви имају исти хоризонталан домет?

(a) Да. (б) Не.

Који су твоји аргументи?

**Питање 3.** Најнижи млаз (из отвора С) има највећи хоризонталан домет.



I – Да ли прихваташ ове облике трајекторија млазева?

(a) Да. (б) Не.

Који су твоји аргументи?

II – Да ли прихваташ да најнижи млаз (из отвора С) има највећи хоризонтални домет?

(a) Да. (б) Не.

Који су твоји аргументи?

**Питање 4.** Највиши млаз (из отвора А) има највећи домет.



I – Да ли прихваташ ове облике трајекторија млазева ?

(a) Да. (б) Не

Који су твоји аргументи?

II – Да ли прихваташ да највиши млаз (из отвора А) има највећи хоризонталан домет?

(a) Да. (б) Не.

Који су твоји аргументи?

**Питање 5** На чему се (углавном) заснивају твоји одговори?

(a) Експеримент изведен у кабинету физике.

(б) Експеримент описан у једном од уџбеника физике из кога сам учио.

(ц) Експеримент који се може видети на ЈуТјубу (YouTube).

(д) На знањима (концептима) и законима које сам учио у претходним курсевима физике.

Можеш изабрати више од једног одговора на питање 5. Опиши битне детаље сваког изабраног одговора. (На пример: “Експеримент је био изведен...” или „Експеримент је описан у уџбенику физике за 6. разред основне школе чији је аутор...”)

### 9.3. Резултати истраживања и дискусија

На основу статистичке обраде одговора на постављена питања нашли смо да је: 19,2% испитаника изабрало ситуацију П1 као тачну; 12,8% је изабрало П2; 48,3% одабрало је П3; а 19,7% изабрало је П4.

Мада је постојао захтев да се сваки одговор аргументује, већина ученика није дала свој аргумент. Слика 30 илуструје најчешћи аргумент, да су учили управо на тај начин. Ови резултати су прилично забрињавајући. Резултати такође представљају аларм за наставнике и ауторе уџбеника да почну да примењују савремене методе и технике наставе и учења и да садржаје у уџбеницима учине што је могуће тачнијим.

1. Srednji mlaz (iz otvora B) ima najveći horizontalni domet

Da li prihvataš ove oblike trajektorije mlazeva?  (a) Da.  (b) Ne.

Koji su tvoji argumenti?  
Zato što smo tako učili u centru  
za stranu usavršavanje

Da li prihvataš da srednji mlaz ima najveći horizontalni domet?  (a) Da.  (b) Ne.

Koji su tvoji argumenti?  
Zato što smo je kod srednjim mlazetu  
videli

Слика 30. Пример ученичког одговора и аргумента у вези питања 1.

С обзиром да је главни задатак био да се истражи утицај погрешних илустрација и демонстрација на ученичке научне концепте о експерименту на Торичелијевој фонтани, студентски одговори и објашњења су обједињени у неколико група, и представљени у наредним табелама. Такође, са а, б, ц, д означени су аргументи предложени у питању П5, за избор одговора у питањима од П1 до П4.

**Табела 1.** Објашњења ДА одговора на питање П1.

П1	Демонстрирано је у Центру	Чини се логично	Због истог растојања између отвора	Без аргумената	а	б	ц
Основна школа	2	0	6	20	7	9	5
Средња школа	0	3	6	8	0	1	2

У Табели 1 се може уочити да је 28 ученика из основне школе и 17 из средње школе изабрало ситуацију описано у П1, као исправну. Њихова објашњења се могу разврстати у четири категорије, као што је приказано у Табели 1. Два ученика из основне школе су нагласила да је предложена ситуација демонстрирана на фонтани која је лоцирана у Центру за стручно усавршавање наставника. Занимљиво је да су неки ученици основне школе поменули квадратну функцију у својим објашњењима, иако се тај математички појам учи тек у другом разреду гимназије (слика 30). Ово вероватно указује на то да су ови ученици прочитали објашњење које постоји поред фонтане у ЦСУ, или да се ради о такмичарима који знају математику боље и више од својих другова са којима похађају основну школу.

Три ученика средње школе су сматрала да се једино логичном може сматрати предложена ситуација, док је 6 ученика из обе групе учесника мислило да средњи млаз из другог отвора трпи највиши притисак зато што је на истом растојању између отвора. Никаква додатна објашњења, о овом стању нису дата. Из табеле се такође може видети да је чак 20 ученика основне и средње школе изабрало предложену ситуацију без образложења. Ово указује да су обратили пажњу на демонстрацију и меморисали оно што су видели, али да нису открили физичко или математичко објашњење овог феномена.

- Експеримент је приказан у цркви науке преко фонтане где се исто види када је донесена стана воде да се млаз А и млаз Б одвајају у истом митки, што показује да квадратна функција има 2 решења.

Овај експеримент могао сам видети у Центру за стручно усавршавање ~~у~~ у Центру и на YouTube

**Слика 31.** Примери објашњења учесника за П- 5.

**Табела 2.** Објашњења ДА одговора на питање П2.

П2	Због истог притиска на млазеве	Чини се логично	Без аргумената	А	Б	Ц	Д
Основна школа	1	3	14	1	6	3	13
Средња школа	3	3	6	0	0	3	10

Из Табеле 2 може се видети да је 18 ученика основних школа и 12 ученика средњих школа изабрало ситуацију описану у П2, као исправну. Њихова објашњења су разврстана у три категорије. Један ученик основне и три ученика средњих школа су претпоставили да је понуђена ситуација исправна, пошто постоји исти притисак на млазеве. Три ученика из обе групе учесника сматрали су да је предвиђена ситуација једино могућа и логична, док је 14 ученика из 6. разреда изабрало ову ситуацију, без објашњења.

**Табела 3.** Објашњења ДА одговора на питање П3.

П3	Због највећег притиска на отвору С	Чини се логичним	Без објашњења	А	Б	Ц	Д
Основна школа	21	5	18	19	11	10	16
Средња школа	56	6	7	13	3	12	44

Може се приметити из Табеле 3, да је 44 ученика основних и 69 ученика средњих школа изабрало понуђен одговор у П3, као исправан. Њихова објашњења су селектована у три категорије, као што је приказано у Табели 3. 21 ученик из основне и чак 56 ученика из средње школе сматрали су да ће због највећег притиска на отвор С, водени млаз из отвора С имати највећи хоризонтални домет.

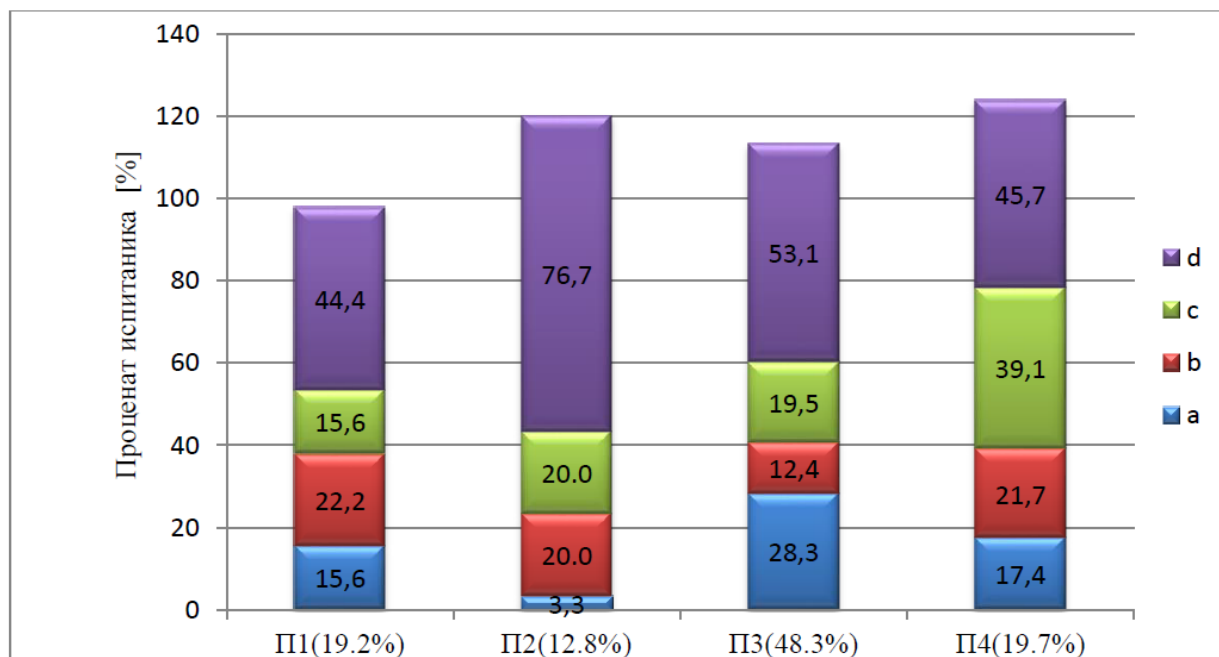
**Табела 4.** Објашњења ДА одговора на питање П4.

П4	Притисак на отвор А (највећа висина, највећи притисак)	Чини се логичним	Без аргумената	А	Б	Ц	Д
Основна школа	4	0	19	7	6	9	12
Средња школа	8	6	9	1	4	10	9

Из Табеле 4, може се уочити, да су 23 ученика основне школе и 23 ученика средње школе изабрало ситуацију представљену у П4, као исправну. Њихова објашњења су разврстана у три категорије, као што је приказано у Табели 4. Четири ученика основних и осам ученика средње школе су засновали своје одговоре на претпоставци да је притисак на највећој висини у односу на хоризонталну раван из отвора А, највећи, шест ученика средње школе сматрало је да је понуђена ситуација једина логична, док је 19 ученика основне и 9 ученика средње школе изабрало предложено ситуацију без објашњења.

Резултати анализа заснованих на ученичким одговорима су представљени на слици 32. Број у загради у доњем реду представља проценат ученика који су изабрали појединачну ситуацију (П1, П2, П3 или П4) као исправну. Бројеви у обојеним површинама представљају проценте ученика (из сваке од група која је изабрала један од четири одговора као тачан) који су одговорили да је њихов одговор заснован на (а) експерименту изведеном у Кабинету физике, (б) експерименту описаном у једном од уобичајено коришћених уџбеника физике, (ц)

експерименту који може бити виђен на ЈуТјуб (YouTube) каналу или (д) на концептима и законима који су изучавани у претходним курсевима физике, респективно. Неки од испитаника су изабрали више од једне опције.



Слика 32. Хистограм представља проценат извора знања за аргументе на којима су ученици засновали своје одговоре.

Видимо да је највећи број ученика изабрао као тачан П3 облик и домет млазева. 53,1% њих су написали да су одговор засновали на концептима и законима који су обрађивани у претходним курсевима физике, а 28,3% њих на експерименту изведеном у кабинету физике. Овај резултат је сасвим објашњив, с обзиром на наставну праксу: Млазеви из боце се користе у настави као доказ исправности Торичелијевог закона а експеримент се изводи подизањем боце, тако да је ниво на који падају млазеви нижи од дна боце. Наиме, резултат теста представља одраз нетачне примене демонстрације физичких феномена и нажалост нетачног објашњења појаве.

Међу свим испитаницима постоји 101 (48,8%) ученик који је изабрао једну од предложених ситуација, без било каквог објашњења. Ово је велики удео оних који су изразили потпуно неразумевање појаве, независно од тога да ли су изабрали исправан, или нетачан одговор. Међу испитаницима који су изабрали исправан опис феномена фонтане (П1), само је двоје (мање од 1%, испитаних) потпуно разумело појаву. Остали студенти који припадају овој групи, осим оних који су дали необразложене одговоре, 7,2% свих испитаника показало је делимично разумевање појаве.

Поред ученика, анкетирано је и једанаест наставника физике у београдским школама. Наставници су одговарали и на додатно питање број 6 (које није постављено ученицима), да ли желе да овај тест дају својим ученицима. Статистика одговора које су дали наставници приказана је у Табели 5. На дну табеле је дат упоредни преглед ДА одговора наставника и ученика, на свако од четири питања из теста.

Иако је број наставника далеко мањи од броја испитаних ученика, види се веома добра корелација тих процената. Од посебног значаја је да су приближно једнаки проценти ДА одговора ученика и наставника за тачан одговор (П1) и одговор заснован на приказима експеримента у великом броју удбеника у Србији (П3). Дакле, ученици у великом проценту прате знање својих наставника.

**Табела 5.** Приказ одговора наставника физике-чланова Београдске подружнице Друштва физичара Србије

Укупан број наставника који је тестиран	П1 (средњи млаз-највећи домет)				П2 (сви млазеви имају исти домет)				П3 (најнижи млаз-највећи домет)				П4 (највиши млаз-највећи домет)				П5 Ресурси одговора		П6 Тестирати ученике	
	Одговор		Аргументација		Одговор		Аргументација		Одговор		Аргументација		Одговор		Аргументација		Да	Не		
	Да	Не	има	не-ма	Да	Не	има	не-ма	Да	Не	има	не-ма	Да	Не	има	не-ма				
	2	7	2	6	2	6	2	7	6	5	5	3	1	9	1	6			а) 7	
																б) 1				
																	ц) 2			
																	д) 6			
<b>11</b>	Одговорило 9, аргументовало 8				Одговорило 9, аргументовало 9				Одговорило 11 Аргументовало 8				Одговорило 10 Аргументовало 7				Више опција одговора 16		<b>7</b>	<b>3</b>
<b>Ученици</b>	Да 19.2%				Да 12.8%				Да 48.3%				Да 19.7%							
<b>Наставници</b>	Да 18.18%				Да 18.18%				Да 54.54%				Да 9.09%							

Овде представљени резултати су сагласни са резултатима које су претходно објавили Панић и сарадници [138]. Наиме, приближно 50% испитаника из обе групе, наше и Панићеве, показује потпуно неразумевање везано за појаву (већина ученичких одговора се заснивала на зависности, већа дубина, већи притисак). Ово посматрање може водити до „грубог“ закључка да ученици генерално имају погрешна схватања о истим концептима [139]. Такође, представљени резултати указују на значај савремених наставних техника (илустрованих применом активног учења Предвиди – Подели – Посматрај – Објасни), које треба да обезбеде превазилажење заблуда.



#### 9.4. Закључак о спроведеној анкети о Торичелијевој фонтани

У спроведеној анкети са ученицима, није било слагања међу учесницима како треба да изгледају путање три млаза и који од млазева има највећи хоризонтални домет на нивоу дна посуде. Ученици су у великом проценту (48,8%) без аргументације изабрали једну од четири предложене шеме облика путања, иако је експлицитно тражено да свој избор образложе. Концепти и закони научени у претходним курсевима физике (44,4% до 76,7%) су имали највећи утицај на одговоре испитаника. Следећи важан извор њихових знања на којима су заснивали своје одговоре је експеримент изведен у кабинету физике. Неправилну употребу фонтане за демонстрацију хидростатичког притиска у зависности од дубине, као и нетачне илустрације и објашњења облика млазева у широко коришћеним уџбеницима, препознајемо као главне узроке оваквих одговора.

Овај закључак се намеће и из поређења процената ДА одговора наставника и ученика, на свако од четири питања из теста. Иако је број наставника далеко мањи од броја испитаних ученика, види се веома добра корелација тих процената. Од посебног значаја је да су приближно једнаки проценти ДА одговора ученика и наставника за тачан одговор (П1) и погрешан одговор заснован на приказима експеримента у великом броју уџбеника у Србији (П3). Дакле, ученици у великом проценту прате знање својих наставника. Као што је приказано у нашем чланку у [22\*] и у поглављу 8 ове тезе, Торичелијева фонтана је наставно средство које је веома присутно у чланцима који се објављују у часописима *Physics Education* и *Physics Teacher*. Аутори тих чланака аргументују да се мисконцепције које постоје у вези млазева из фонтане могу отклонити ако се она користи у настави о кретању честице (капљице) у гравитационом пољу, а не само у настави о хидростатичком притиску. Фонтана је идеална за визуелизацију својстава квадратне функције и корена квадратне једначине у зависности од више параметара: висина отвора, висина стуба воде у посуди, нивоа на коме се посматра долазак млазева. Данас веома коришћен универзитетски уџбеник физике у САД [140] садржи више проблемских задатака који се односе на млазеве из Торичелијевог фонтане. Сматрамо да би било веома корисно да и у Србији, проблемски задаци повезани са Торичелијевог фонтаном добију своје место, како у настави у средњим школама и школским такмичењима тако и у настави на универзитету.

## **10. Визуелизација током расправе о физичкој природи атмосферског притиска: Ричи-Торичелијев експеримент**

Ричи-Торичелијев експеримент из 17. века [141, 142] је у данашње време поново постао актуелан у научној јавности [143]. Нов приступ у истраживању феномена атмосферског притиска бацио је „ново светло на стару тему“ и показао да је дискусија стара 300 година још увек „жива“. Нови резултати актуелног истраживања, базираног на едукационој визуелизацији физичких феномена, [144] указују на неопходност ревизије садржаја у уводним курсевима физике.

### **10.1. Физички узрок атмосферског притиска: тежина ваздуха или кретање молекула и њихови удари**

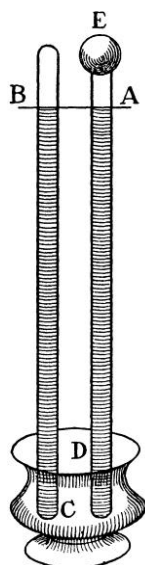
У уџбеницима физике [145 - 154], се наводи да је атмосферски притисак на посматраној висини у атмосфери последица деловања тежине стуба ваздуха од те висине до врха атмосфере. Дакле, „ваздух притиска ваздух.“ У тим истим уџбеницима се, у садржајима који се односе на кинетичку теорију гасова, сугерише да је притисак гаса у затвореној посуди узрокован променом импулса молекула при њиховим сударима са зидовима суда или са тест-објектом постављеним у посуду са гасом. Притисак је утолико већи, уколико је већи број молекула и њихова средња енергија.

Упркос чињеници, да се атмосфера састоји од материје која је углавном у гасовитом стању, уводни уџбеници физике не дају објашњење због чега концепт притиска из кинетичке теорије гасова не објашњава физичку природу атмосферског притиска. Ричи - Торичелијев експеримент који су извели научници из Академије дел Ћименто (Academia del Cimento) [142, 143] сугерише да се напусти објашњење засновано на тежини ваздушног стуба, у корист објашњења заснованог на локалној густини ваздуха. Зависност густине ваздуха од висине, као и атмосферског притиска, је узрокована Земљином гравитационом силом, која делује на све молекуле који се хаотично крећу у атмосфери.

### **10.2. Торичелијев, Ричи-Торичелијев и Паскалов експеримент и објашњења**

Концепт атмосферског притиска је настао из Торичелијевог експерименталног решења проблема формулисаних у вези са многобројним дуго познатим физичким феноменима, као што су: понашање воде у сифонима, шприцевима, воденим сатовима и пумпама.

Торичели је свој кључни експеримент описао и дао објашњење у писму (од 11. јуна 1644.) свом пријатељу Микеланђелу Ричи. Ричи је био математичар и кардинал у Риму. Стаклену цев (епрувету) дужине око 1,2 m Торичели је напунио живом. Потом је прстом затворио епрувету, обрнуо је за 180° и уронио у базен такође напуњен живом (слика 33). Приметио је да се жива у цеви спустила до висине “a cubit and a quarter and an inch besides”, што у данашњој јединици дужине износи 76 cm. Сматрао је да је тако створио вакуум у простору изнад живе у цеви, те да је показао да је могуће створити вакуум „без примене силе и без отпора од стране природе“ [141]. Тврдио је да је овим показао да је неодржив став Аристотела и његових следбеника, да се природа противи постојању вакуума („nature abhor vacuum”).

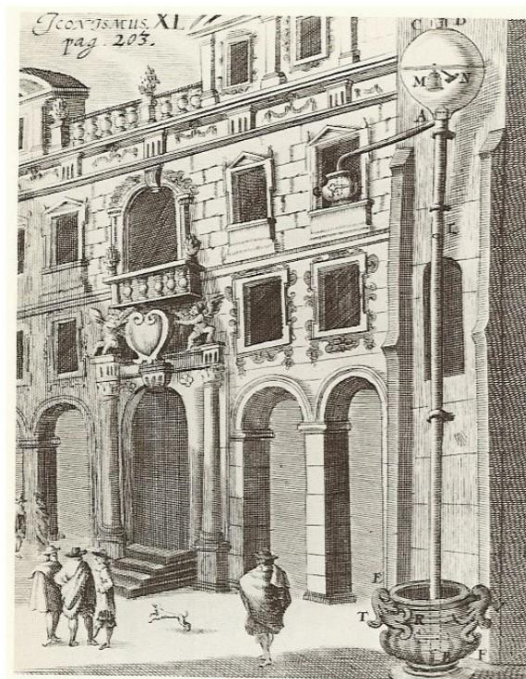


Слика 33. Скица експеримента у Торичелијевом писму Ричију [141].

Потом је Торичели аргументовао да вакуум створен изнад стуба живе (у простору АЕ, као и у простору изнад нивоа В) није одговоран за то што се, насупротив природне тежње живе да падне на дно, одржава фиксна висина стуба живе. У простору изнад живе у епрувети нема ничега и према томе тај простор не може деловати ни привлачно ни одбојно на живу у стубу: „До сада се сматрало, да сила која спречава живу да падне на дно, супротно њеној природној тежњи, делује изнутра, то јест из простора АЕ, и да потиче од вакуума или веома разређене живе у томе простору: ја тврдим да је сила спољашња то јест да делује споља.

На површину течности која је у базену, делује својом тежином стуб ваздуха висине педесет миља“ [141]. Дакле, Торичели је јасно видео да је притисак „океана ваздуха“ на живу у посуди одговоран за одржавање стуба живе у цеви на висини од 76 cm.

Торичели наставља: „Такође се и вода, у сличној али много дужој цеви, одржава на скоро једанаест кубита, то јест на много већој висини него жива, пошто је жива тежа од воде, да би била у равнотежи са истом силом, која на исти начин делује и на живу и на воду.“ Торичели је очигледно мислио на експеримент који је извео Гаспаро Берти (слика 34) између 1639. и 1644. а који су веома детаљно описали и дискутовали у новије време Науенберг (Nauenberg) [155] и Вест (West) [156].



**Слика 34.** Бертијев експеримент [155, 156] са водом у оловној цеви дужине око 11 m. После отварања запушача, на дну цеви напуњене водом, вода се спустила до висине око 10 m.

Паскал је био импресиониран Торичелијевим експериментом [157]. У намери да даље детаљније истражи и подржи Торичелијево објашњење засновано на тежини, Паскал је организовао извођење експеримента на врху планине Пеј д Дом (Puy de Dome).

Тако је настало објашњење атмосферског притиска на основу тежине стуба ваздуха. Овај став је остао у уџбеницима физике до данас [150 - 154]. Важно је напоменути да је ово универзално прихватање опстало, упркос интересантној, али не тако много познатој историјској чињеници. После Ричијеве примедбе [141] Торичели је преформулисао и делимично модификовао своју изворну теорију. У модификованој теорији, висина стуба живе у цеви је одређена „локалном“ густином ваздуха изнад суда, уместо тежином стуба спољашњег ваздуха.

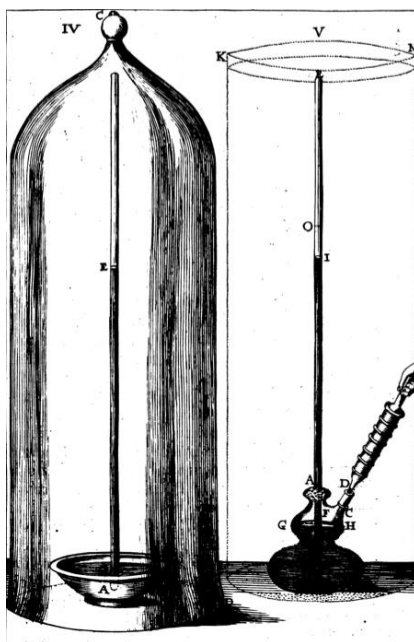
Ова модификација је настала из Торичелијеве анализе и детаљне разраде мисаоног експеримента који је предложио Ричи у свом одговору на Торичелијево писмо [141]: „Чини ми се да можемо искључити гравитациони утицај ваздуха на слободну површину живе у базену постављањем поклопаца са отвором кроз који пролази стаклена цев. Тиме би се у потпуности изоловали сви делови, тако да не би било комуникације између њих. У том случају, ваздух изнад базена не би више деловао на површину живе, него на поклопац; ако би и у томе случају стуб живе имао исту висину као раније, ефекат не би могао бити приписан тежини ваздуха за коју је претпостављено да држи стуб у некој врсти равнотеже“ [141].

Торичели је прихватио ову Ричијеву примедбу утолико што је уместо о „тежини спољашњег ваздуха“ почео да размишља и пише о „густини ваздуха.“ Размотрио је две могуће варијанте Ричијевог мисаоног експеримента: „Ако пробушени метални покопац који уводите да би сте покрили површину базена, поставите тако да додирује живу у базену, жива која се налази у цеви ће остати на истој висини; али не због ваздуха, већ зато што јој део живе у базену не дозвољава да се спусти. Али, ако поклопац поставите тако да између поклопаца и површине живе постоји извесна количина ваздуха, поставио бих питање да ли желите да тај ваздух има исту густину као спољашњи ваздух. Ако би затворени ваздух био исте густине, жива у цеви би остала на истој висини као раније; али ако би ваздух који би сте затворили био ређи него спољашњи ваздух, онда ће се жива у цеви спустити донекле; ако би затворени ваздух био бесконачно разређен - тј. ако би био вакуум - онда би се жива из цеви потпуно спустила, под

претпоставком да је простор између поклопца и живе у базену довољно велики да може да прими ту количину“ [141].

Есперимент који је предложио Ричи и разрадио Торичели, Ричи-Торичелијев експеримент, су касније допунили и извели научници из славне Академије дел Ђименто у Фиренци (слика 35). Експеримент је описао и коментарисао Магалоти [142] и недавно је коментарисала Фронтали [143].

Преко Торичелијевог инструмента (слика 33), који се данас назива барометар, је стављено (слика 35, лево) стаклено звоно (реципијент) да би се истражило да ли ће ниво стуба живе остати на уобичајеној висини, иако инструмент није под утицајем спољашњег ваздуха. Како је висина стуба живе била иста без звона и са звоном, закључак је био да је „степен ваздушног притиска“ (а не тежина атмосферског ваздуха) директан узрок постојања живиног стуба у инструменту. У другом експерименту (слика 35, десно) било је могуће променити висину стуба живе променом густине и притиска веома мале количине заробљеног ваздуха. То је урађено на два начина: а) променом запремине заробљеног ваздуха померањем клипа; б) променом температуре заробљеног ваздуха грејањем или хлађењем. Потпуно је јасно да „тежина“ искључене атмосфере, не игра никакву улогу у овим променама.



**Слика 35.** Две експерименталне демонстрације које показују да локална густина и притисак ваздуха изнад живе директно утичу на висину живе у Торичелијевој цеви [143].

У првом писму Ричију, Торичели је такође написао да је приметио промене нивоа течности у стубу са живом при загревању и хлађењу „које никако не бих очекивао“. Без обзира на чињеницу да он није очекивао ове промене, ми бисмо желели да тврдимо да је Торичели схватио, односно приметио, да су две величине биле релевантне за равнотежу између спољашњег ваздуха и стуба живе у цеви: густина и температура ваздуха. Ова зависност је објашњена много касније, развојем кинетичке теорије гасова [158 - 160].

О густини ваздуха, Торичели је написао следеће: „Тежина ваздуха коју помиње Галилео се односи на ваздух у веома ниским местима где живе људи и животиње, док он на врху високих планина почиње да буде приметно ређи и много мање тежине. Из Магалотијевог коментара [142, 143] о резултату изведеног Ричи - Торичелијевог експеримента, види се да су научници из Академије дел Ђименто направили нови корак према кинетичкој теорији атмосферског притиска: “Због тога се чини могућим веровати, да сигурно не због тежине, већ пре због притиска узрокованог сићушним честицама ваздуха се одржава ниво стуба течности на

одређениј висини.“ Ово резонување претпоставља атомистичку тачку гледишта, као што је Фронтали [143] нагласила.

### 10.3. Разлози за постављање питања о физичкој природи атмосферског притиска

Од Торичелијевог и Паскаловог времена, развиле су се атомска теорија материје, кинетичка теорија гасова [158 - 160] и статистичка механика [161 - 163]. Упркос том развоју, **прво** Торичелијево објашњење, које је прихватио и ширио у научним круговима и јавности Паскал [157], а које је базирано на тежини је преузето у уџбеницима физике [145 - 149] и задржало се до данашњих дана [150 - 154]. Данас је тај концепт присутан и на веб сајтовима [164 - 166]. Два уобичајена навода из уџбеника гласе: „Ваздушни притисак на Земљиној површини је узрокован тежином стуба ваздуха изнад површине. Пошто притисак на датој висини зависи од тежине ваздуха изнад те висине, притисак се мења много брже у близини површине Земље“ [151 а]. „Основни физички разлог за промену притиска са висином се најлакше види ако се крећемо наниже са врха атмосфере. Сваки елемент атмосфере је подвргнут притиску који потиче од тежине атмосфере изнад њега. Ово важи за све флуиде, али стишљивост гасова уводи додатни фактор. Са повећањем притиска, густина гаса расте такође. Дакле, сваки елемент запремине ваздуха је гушћи него елементи изнад њега и доприноси више постепеном порасту притиска како идемо наниже“ [150].

У прилазу који води до објашњења атмосферског притиска заснованог на тежини, гас се разматра заједно са течностима, као пример флуида [167 а, 169]. У том смислу, уџбеник од Најта (Knight) [170] се веома разликује. Најт веома детаљно описују разлике у особинама течности и гасова и у њиховом понашању у гравитационом пољу. Зато Најт објашњава концепт атмосферског притиска после одељка о кинетичкој теорији гасова, а пре одељка о притиску у течностима [170].

У курсевима статистичке механике [160, 161 - 163] студенти уче статистичко објашњење промене молекуларне густине и притиска са висином у гравитационом пољу. Густина и притисак експоненцијално опадају са висином [171 - 172]. Статистичко објашњење је засновано на проширењу концепта притиска из кинетичке теорије [158, 159] гасова на атмосферу, како су то сажето описали Лутгенс и Тарбак (Lutgens и Tarbuck) [173]. „Континуирано бомбардовање зидова контејнера молекулима гаса доводи до силе према споља коју зовемо притисак гаса. Мада је атмосфера без зидова, она је одоздо ограничена Земљином копнено-морском површином, а одозго силом гравитације која спречава бег молекула у спољашњи простор (космос). Ваздушни притисак у атмосфери дефинишемо помоћу силе која делује на површину континуираним ударима молекула гаса“ [173].

Данас је добро позната чињеница да се атмосферски притисак мења са променом временских услова, то јест променом температуре, осунчења, падавина. Ове промене је већ уочио Торичели, као што смо горе цитирали. У нашем чланку [144\*] поставили смо питање: на који начин би се промене атмосферског притиска са временским условима могле објаснити помоћу „тежинског“ концепта? Интересантно је да нам је колега Пеђа Родић, који предаје физику у Основној школи, рекао да му ово питање постављају његови ученици.

На курсеве статистичке механике студенти долазе имајући на уму „тежински заснован“ концепт атмосферског притиска, тако да је разумљив разлог недавно покренуте дискусије међу студентима на веб - сајту Stack Exchange [174]. Ова дискусија показује да постоји потреба за давањем јасног и разумљивог објашњења концепта атмосферског притиска.

У том циљу, Бертијева апаратура постављена у парковима науке и школским двориштима би добро дошла, тим пре што користи воду а не живу. Било би такође вредно извести Ричи-Торичелијев експеримент са Бертијевом апаратуром. Све то би допринело да се заокружи расправа и усагласе мишљења о физичкој природи атмосферског притиска. Ово би било од значаја, како за наставу физике, тако и за наставу географије, физике атмосфере, астрономије и опште образовање.

Приметимо да притисак зависи од висине не само у атмосфери, већ и у малом затвореном контејнеру, с том разликом што је ту зависност притиска од висине линеарна, а не експоненцијално опадајућа. Применивши варијанту Галилејевог метод мерења тежине ваздуха у затвореном контејнеру, Бредли - Хачисон (Bradley - Hutchison) [175] је извео експеримент из кога је закључио: „Упркос чињеници да је разлика сила притиска на врх и дно лабораторијског контејнера веома мала, она је довољна да се она измери. Резултујућа сила која делује на доле се уобичајено назива „тежина ваздуха у контејнеру“. Али, Бредли - Хачисон истиче да механички модел молекула као чврстих сфера, који леже један на другом и притискају на доле, није ваљан модел/објашњење ове силе. Измерена „тежина“ (очитана вредност са скале) је последица разлике притисака, где је порекло притиска молекуларно кретање и удари.

## 11. Закључак докторске тезе

Читањем комплексних и тешких текстова, студенти често имају проблем са захтевним сазнајним разумевањем текста. Према когнитивној теорији мултимедијалног учења, студенти интегришу сликовне и вербалне репрезентације прочитаног текста. Различите методе визуелизације могу помоћи наставницима природних предмета (STEM) да објасне и разумеју ученичко научно резонување и да добију дубљи увид у њихов процес учења [11, 27 - 29, 176].

У овој докторској тези, обрађена је научна визуелизација физичких феномена у парковима науке и школским двориштима, у свету и код нас, са нагласком на изграђен Парк науке у Шапцу. Рад је ослоњен на изведене инсталације у шабачком парку науке изграђеном у дворишту Центра за стручно усавршавање: ДИНГ-у и Торичелијевој фонтани. О овим инсталацијама, писали смо у радовима, [18\*, 21\*, 22\*]. Такође, рад се бави анализом узрока атмосферског притиска, Ричи - Торичелијевим експериментом и важношћу визуелизације Бертијевог и Ричијевог експеримента, као и њиховом позицијом у савременој литератури.

У данашње време се све више поклања пажња едукационој визуелизацији физичких феномена са циљем развоја ученичких когнитивних знања и критичког мишљења. Визуелизација се одвија у више смерова, дигиталним симулацијама [31], извођењем и изградњом 3Д инсталација на отвореном, или пак моделовањем експеримената унутар лабораторије [177]. Свакодневно учимо да постоје сазнања о потреби наставе која би одговорила на питање, како наука функционише, као и учење о фундаменталним процесима са којима треба да буду упознати сви ученици и грађани [65, 84, 178]. Простори у школи у којима ученици проводе време учећи, не ретко су сиви и неинтересантни и не подстичу ученике на дубље сазнајне процесе. Све мање ученика студира и истражује науку из угла проблемских ситуација, критично разматрајући оно што им је већ „сервирано“ у уџбеницима. Простор образовања би требало да буде инспиративан и да изазива радозналост код ученика, као и да им омогући, сарадњу, и међусобну комуникацију са циљем колегијалног подучавања [15, 39, 179].

У Израелу је формиран Врт Науке (The Clore Garden of Science) [34, 55] који је инспирисао настанак великог броја паркова науке и инсталација које су постављене касније у свету, као на пример, Тре Универзитету у Риму (Roma Tre University) [61], у којем је постављен Светски оријентисан глобус. На Паралелном Глобусу група научника из Милана, развила је низ едукативних активности намењених оснаживању наставе и знања средњошколаца [90]. Аутори инсталација су доказали снагу поменутог наставног средства и његову применљивост у образовању ученика свих узраста. Слична инсталација у Србији је ДИНГ конструисан и инсталиран у шабачком Центру за стручно усавршавање [21]. Кроз визуелизацију феномена везаних за ДИНГ, повезана су научна знања и историјски развој мисли везане за облик и величину Земље, њеном орбиталном кретању и сопственој ротацији, мерењу времена кроз векове.

Метод визуелизације физичких, математичких и астрономских недоумица тог времена, користио је и Ератостен решен да аргументује сферни облик Земље и одреди њену величину [4, 14, 62]. Као што смо навели у закључку поглавља 7, Ератостенов модел је идеалан за увођење проблемско - истраживачког начина учења у образовни систем [66]. Паралелни глобус је користио и Томас Џеферсон [76, 77] за разматрање, разумевање мерења времена и одређивање географске дужине. Оснажен штапићима на екватору, овај глобус је коришћен за разумевање принципа рада сунчаних часовника [71, 90, 21\*]. Милутин Миланковић је захваљујући разумевању оријентације Земљине осе и осунчавању Земље успео да повеже климатске промене током дугог периода са променама параметара Земљине орбите [82 - 84].

У 8. поглављу дисертације наглашена је блиска веза математичког знања о квадратној функцији и једначини чија употреба и разумевање расветљавају презентације и расправе о млазевима из Торичелијевој фонтане [22\*].



Фотографије реалних млазева, облик путања, и друге особине у реалним демонстрацијама које су спровели, Слишко и Круз [10], Планиншич [102], Божић [55], Лопац [104], указују на чињеницу да је Торичелијева фонтана идеална апаратура за показивање и визуелизацију везе физике и математике.

Поглавље 9 се бави анкетом спроведеном међу ученицима основних и средњих школа са циљем да се прикажу резултати истраживања о степену разумевања и способности аргументовања коју ученици имају о облику млазева из Торичелијевог фонтана. Иста анкета спроведена је међу наставницима основне и средње школе који су чланови београдске подружнице Друштва физичара Србије. Уочена је значајна корелација између ученичких и наставничких одговора (табела 5). Погрешне илустрације и прикази експеримената у учионици су још увек присутни у савременим уџбеницима [97, 115 - 125], што резултира великим бројем нетачних и неаргументованих одговора у оквиру ове анкете. У оквиру 9. поглавља, извршена је анализа уџбеника у Србији, које је Министарство просвете препоручило за коришћење у основним школама. Шест од осам анализираних уџбеника садржи погрешне илустрације Торичелијевог фонтана (ПРИЛОГ 4).

У поглављу 10 тезе, дат је приказ Ричи - Торичелијевог експеримента из 17. века. и анализиран значај овога експеримента у расправи о физичкој природи атмосферског притиска. Од великог значаја би било извести Ричи - Торичелијев експеримент са Бертијевом апаратуром, јер она користи воду, а не отровну живу [155]. Бертијев експеримент, који је претходио Торичелијевог, је детаљно анализиран од стране Наунберга [155] и Веста [156].

Аргументи који произилазе из нових истраживања и расправа о физичкој природи атмосферског притиска [143, 144\*, 170, 173, 175] указују на неопходност ревизије садржаја у уводним курсевима физике, како у српским, тако и у страним уџбеницима.

Колико је едукациона визуелизација актуелна, као пример наводимо недавно објављен чланак [27] о визуелизацији више оптичких појава у једном експерименту: праволинијско простирање светлости кроз хомогену средину, одбијање и преламање светлости на граничној површини две средине, тотална рефлексија, интерференција ласерске светлости после расејања на дифракционој решетки. Користи се: провидна када, вода, ласерски показивач, капи млека, исечак CD-а постављен на дну каде.

Едукациона визуелизација физичких феномена у парковима науке, лабораторијама на отвореном, школским двориштима се убрзано развија, упоредо са визуелизацијом кроз дигиталне лабораторије, редовно опремљене лабораторије физике, симулације и видео презентације. У Србији постоји потреба за систематски уређеним научним материјалом и упутствима за сценарио часа у парковима науке. Такође, потребна је додатна обука наставника за рад на 3Д инсталацијама у школским двориштима и парковима науке, али и за разумевање научне визуелизације физичких феномена. Као природна последица додатне обуке наставника за визуелизацију, и ученика и њиховог интегрисања у редован наставни процес, неопходно је спровести детаљна истраживања (слична оним које спроводи МИТ од 2004. [31]). Ова истраживања се баве квалитетом, трајношћу и употребљивошћу ученичких знања [131, 180]. Јасно је да је простор едукационе визуелизације, како у нашој земљи, тако и у свету још увек огroman и недовољно искоришћен.).

За све наведене значајне образовне подухвате у настави физике потребна је систематска, научна и финансијска подршка, како стручних друштава, тако и Министарства просвете, науке и технолошког развоја.

## 12. Литература:

- [1] Pizzo J, 2001, Interactive Physics Demonstrations, *College Park: AAPT*
- [2] Božić M, Vušković L, Pantelić D, Nikolić S, & Majić V, 2005, School architecture and physics education *The Physics Teacher* **43** p. 604
- [3] Bennett, J., Donahue, M., Schneider, N. & Voit, M., The Cosmic Perspective, San Francisco, Pearson Education, Third edition 2004
- [4] Sur les pas d'Eratosthene (<http://www.fondation-lamar.org/eratos>) скинуто 23.5.2021.
- [5] Szostak R, 1999, Simple hands - on experiment for teaching astronomy Hands-on Experiments in Physics Education. Proc. *ICPE - GIREP International Conference, Duisburg, Germany, 1998 ed. G. Born et al (Duisburg: Didaktik der Physik)* pp. 124 - 129.
- [6] Тадић, М., Географска мерења ван школске учионице Београд, Креативни центар 2013
- [7] Davidson Institute of Science Education, Clore Garden of Science, <http://davidson.weizmann.ac.il/en/garden-of-science> - скинуто 23.5.2021.
- [8] Kukulhaus H, 2009, Graubner Play Stations for Developing the Senses, Richter Spielgerate, Frasdorf
- [9] Taylor A, 1993, The Learning Environment as a Three-Dimensional Textbook *Children's Environments* **10** (2) pp. 104 - 117
- [10] Sliško J, 2009, Repeated errors in physics textbooks: What do they say about the culture of teaching? *Proceedings of the GIREP-EPEC & PHEC International Conference, Leicester: University of Leicester* 2011 **2** pp. 31 - 46
- [11] Mir R, 2014, Outdoor Science Parks, *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Public Communication of Science and Technology Conference, Salvador Brasil*
- [12] a) Nair P & Fielding R, 2005, The Language of School Design, *Design Principles for 21st Century Design-Share*, Minneapolis
- b) <http://www.designshare.com/> - скинуто 23.5.2021.
- [13] Božić M & Ducloy M 2008, Erathostenes' teachings with a globe in a school yard *Physics Education* **43** p. 165
- [14] Ellinogermaniki Agogi, <http://www.ea.gr/ea/main.asp?id=102&lag=en> - скинуто 23.5.2021.
- [15] Božić M, Popović M & Savić I, 2009, Out Classroom Installations for Learning Physics, *AIP Conference Proceedings, New York* **1203** pp. 1250 - 1255
- [16] Kong, S Y, Rao S P, Abdul - Rahman H, Chen W, Yaacob N M & Ariffin A R, 2014, School as 3D Textbook for Environmental Education: Design Model Transforming Physical Environment to Knowledge Transmission Instrument *The Asia-Pacific Education Researcher*, **23** (1) pp.1 - 15
- [17] Tabor - Moris A, Briles, T & Froriep K, 2012 Discovery Garden - Physics and Architecture Meet Outside to talk, *The Physics Teacher* **50** pp. 95 - 97
- [18] \*Marković-Topalović T & Božić M, 2011, Serbia hosts teachers' seminar *Physics Education* **46** p. 365
- [19] Божић, М. Цуцић, Д. Марковић - Топаловић, Т и Савић, И. Одређивање и примена меридијана, Зборник конференције „Календарско знање и допринос Милутина Миланковића“ Београд, Удружење Милутин Миланковић, 2011
- [20] \*Miličić D, Bošnjak M, Cvjetičanin S, Jovanov B, Marković - Topalović T, Jokić Lj, Obadović D & Jokić S, 2012, Acceptance of IBSE method among children, teachers and students on the Universities and society in Serbia, *Proceedings of the Second European Conference Bridging the gap between education, research and practice University of Leicester UK*.
- [21]\*Božić M, Vušković L, Popović S, Popović J & Marković - Topalović T, 2016, Visualization on the Day Night Year Globe, *Eur. J. Phys.* **37**
- [22]\*Davidović M, Marković - Topalović T, Sliško J & Božić M, 2020, Visualizing Properties of a Quadratic Function using Torricelli's Fountain *The Physics Teacher* **58** p. 263  
Online Appendix [https://aapt.scitation.org/doi/suppl/10.1119/1.5145475/suppl\\_file/263\\_1-appendix.pdf](https://aapt.scitation.org/doi/suppl/10.1119/1.5145475/suppl_file/263_1-appendix.pdf) - скинуто 23.5.2021.

- [23] Garoon Gateway to Science, 2010, Principles of Science: Earth's Orbit and Tilt <http://garoongatewaytoscience.com/index.php?s=globe> – скинуто 23.5.2021.
- [24] [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I\\_26.html](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_26.html) - скинуто 23.5.2021
- [25] Abro A D, 1951, The rise of the new physics, *Dover Publications*, inc. New York, pp. 3 – 13
- [26] <https://www.museogalileo.it/en/> - скинуто 23.5.2021.
- [27] Velasco S, Mazo A, 2019, Visualization of four optics phenomena in a single experiment, *The Physics Teacher* **57**
- [28] Wolff R, 1991, Visualization as a Tool for Physics Education, *American Institute of Physics Computer in Physics*, **5** p. 278
- [29] Lubben F, Ibrahim B, 2007, Modelling and visualization in the teaching and learning of physics, <https://www.researchgate.net/publication/228991124> – скинуто 23.5.2021.
- [30] Project 183, <http://www.infra-visionair.eu/accepted-projects.html> – скинуто 23.5.2021.
- [31] Dori J Y, Hult E, Breslow E & Belcher J W, 2007, How Much Have They Retained? Making Unseen Concepts Seen in a Freshman Electromagnetis Course at MIT, *Springer Science Business Media LLC*
- [32] [http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/teal\\_tour.htm](http://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/teal_tour.htm) – скинуто 23.5.2021.
- [33] <http://designexplainsscience.com/?lang=en> – скинуто 23.5.2021.
- [34] Sharon O, 2005, Reuven G, Anati Designshop, Clore Garden of Science Weizmann Institute-Israel, The Earth, <http://www.designshop.co.il/>
- [35] Wikipedia 2016 Akhenaten <http://en.wikipedia.org/wiki/Akhenaten>
- [36] Probst O, 2002, The apparent motion of the Sun revisited *Eur J Phys* **23** pp. 315 - 322
- [37] \*Поповић - Божић М, Иванчевић Љ, Марковић - Топаловић Т, Стојићевић Г, 2015, Школа као 3Д уџбеник - путеви реализације и ефекти, *Зборник скупа „Имплементација иновација у образовању и васпитању-изазови и дилеме“* Учитељски факултет Београд, стр. 301 <http://www.uf.bg.ac.rs/wpcontent/uploads/2015/29/Zbornik.pdf> - скинуто 23.5.2021.
- [38] Machlic G, Marcia McNutt M, 2015, Parks for Science, *Science*, **348** (6241) p. 1291 <https://www.mos.org> <http://www.mos.org/exhibits/science-in-the-park> - скинуто 23.5.2021.
- [39] Laurence F W, 2015, Parks for science, science for parks *Science*, **349** (6249), p. 699
- [40] Mir R, 2003, Natural Attraction: Implementing Your Science Park, *Bimonthly News Journal of the Association of Science - Technology Centers, Dimensions* p. 3, Vermont, USA
- [41] Ghose S, 2003, Roofed by Sky, How Settings Shape Science Parks, *Bimonthly News Journal of the Association of Science-Technology Centers Dimensions* p. 6 – 7, Vermont, USA
- [42] Gould S, 2005, Pushing the frontiers of science Weizmann NOW, (2) 10 Weizmann UK, London
- [43] Ashkenazi R & Malkosh J, 2003, Israel Shedding Light on Science, *Bimonthly News Journal of the Association of Science-Technology Centers, Dimensions* p. 7 – 8, Vermont, USA
- [44] Myllykoski M, 2003, Finland, White Nights of Science, *Bimonthly News Journal of the Association of Science - Technology Centers, Dimensions* p. 8, Vermont, USA
- [45] Goudy D, 2003, Landscape as Exhibit:The Science Park at Montshire Museum *Bimonthly News Journal of the Association of Science-Technology Centers, Dimensions* pp. 11 – 12, Vermont USA
- [46] Krevlin J, 2003, Design for playing: Safety and Substance in Outdoor Science Parks. *Bimonthly News Journal of the Association of Science-Technology Centers, Dimensions*, pp. 15 – 17, Vermont USA,
- [47] Поповић - Божић М, Слишко Ј, Марковић - Топаловић Т, Подстицајна околина за учење природних наука, *Зборник Републичког семинара о настави физике*, Врање, (Друштво физичара Србије, Београд, 2011, ст. 81 - 90.)
- [48] <http://csusabac.rs/o-parku/park-nauke/> - скинуто 23.5.2021.
- [49] <http://www.poko.ipb.ac.rs> – 23.5.2021.
- [50] Булат С, Давидовић М, Јоксимовић М, Марковић - Топаловић Т, Поповић - Божић М и Стојичић Б, Из часописа и уџбеника у школски простор, *Настава физике* **8**, Друштво физичара Србије, Београд, 2019

- [51] Galileo G, 1638, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche*, intorno a due nuove scienze, translated by Henry Crew & Alfonso de Salvio, *Dialogues concerning TWO NEW SCIENCES* Macmillan, New York, 1914
- [52] <https://www.museogalileo.it/it/museo/impara/online/56-video-didattici-di-storia-della-scienza/515-meccanicagalileo-it.html> – скинуто 23.5.2021.
- [53] Dauben J, Galileo & the Mathematics of motion, Part I, The inclined plane experiment, <http://www.mcm.edu/academic/galileo/ars/arshtml/mathofmotion1.html> – скинуто 23.5.2021.
- [54] Geva U, 2002, MathVentures  
[http://www.forthinkingpeople.com/downloads/pdf\\_files/DayNightGlobe.PDF](http://www.forthinkingpeople.com/downloads/pdf_files/DayNightGlobe.PDF) – скинуто 23.5.2021.
- [55] Božić M, 2013, Inspiring learning environment, The school as a three-dimensional textbook *Europhysics News* **44** (2) pp. 22 - 26
- [56] Replogle Globe, 2013, Wonder Globe.  
<http://www.replogleglobes.com> – скинуто 23.5.2021.
- [57] ARC Science Simulations, 2015, OmniGlobe  
<http://www.arcscience.com> – скинуто 23.5.2021.
- [58] Old Dominion University, 2011, The ODU OmniGlobe  
<http://www.lions.odu.edu/omniglobe/Omniglobe/Welcome.html>
- [59] Gore, J. H., *Geodesy*, Cambridge, Boston and New York: The Riverside Press, 1891, pp.12 - 32
- [60] Kemble, E. C., *Physical Science, Its Structure and Development*, Cambridge Massachusetts and London, England: The M. I. T. Press, 1966).
- [61] Altamore A, Bernieri E & Marinilli F, 2010, The Oriented World Globe at Roma Tre University Galileo and the Renaissance Scientific Discourse ed A Altamore and G Antonini Roma: *Edizioni Nuova Cultura* pp. 164 - 167
- [62] Weir J, 1931, The method of Eratosthenes *The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* **25** pp. 294 - 296
- [63] Decamp N & Hosson C, de 2012, Implementing Eratosthenes' Discovery in the Classroom: Educational Difficulties Needing Attention *Science & Education* **21** pp. 911 - 920.
- [64] Bennett J, Donahue M, Schneider N & Voit M, *The Cosmic Perspective*, San Francisco, CA: Pearson, Addison Wesley, 2004
- [65] Babović V & Babović M. 2014, The Sun lightens and enlightens: high noon shadow Measurements, *Eur. J. Phys.* **35** 065005 pp.13.
- [66] Hosson C, de 2008, Using Historical Reconstruction to Implement Inquiry-Based Teaching in Primary School *Proc of the third South-East European school for hands-on primary science Education* ed S Jokić, Belgrade: Vinča Institute, p. 161 - 168.
- [67] Nishimoto K, 1996, Tall Shadows TALES from the Electronic Frontier, San Francisco, CA: West Ed, pp. 22 - 29.  
<http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED400776.pdf> - skinuto 26.5.2021.
- [68] Folco E, Di Hartmann M, Jasmin. D & Farges H, 2002, Mesurer la Terre est un jeu d'enfant. Sur les pas d'Eratosthène Paris: *Le Pommier*
- [69] Sotiriou S & Bogner F. X, 2015, A 2200-Year Old Inquiry-Based, Hands-On Experiment in Today's Science Classrooms *World Journal of Education* **5** pp.52 - 62.
- [70] Longhorn M & Hughes S, 2015, Modern replication of Eratosthenes' measurement of the circumference of Earth, *Phys. Educ.* **50** pp. 175 – 178.
- [71] <https://www.happylittlecaravan.com/en/observatory-max-valier-cornedo-bz/> - скинуто 26.5.2021.
- [72] Rohr R J, *Sundials: History, Theory and Practice*, Toronto and Buffalo: University of Toronto Press, 1970,
- [73] Erichson H, 1974, The Horizontal Sundial, *American Journal of Physics* **42** pp. 372 - 373.
- [74] Zanetti V, 1984, A Sundial design, *American Journal of Physics* **52** (2) pp.185 - 185

- [75] Jaspersen J & Fitz - Randolph J, From Sundials to Atomic Clocks, Understanding Time and Frequency. National Bureau of Standards Monographs 155 Washington DC: U. S. Government Printing Office, 1977
- [76] Thomas Jefferson Foundation, Inc. 2002, Replica of Spherical Sundial Installed *Monticello Newsletter* **13** (1) pp 1 - 2  
<https://www.monticello.org/sites/default/files/inline-pdfs/2002ssndl.pdf>
- [77] Wilson G, 2005, Marking Time: Jefferson's Spherical Sundial, *Chronicle of the Early American Industries Association* March 1 - 5
- [78] Bensky T J, 2010, The longitude problem from the 1700s to today: An international and general education physics course, *American Journal of Physics* **78** (1) pp. 40 - 46
- [79] Beiswanger W, 2001, Spherical Sundial *Monticello Research Report* 11/01  
<https://www.monticello.org/site/research-and-collections/spherical-sundial> - скинуто 26.5.2021.
- [80] Copernicus N, 1543, De Revolutionibus Orbium Coelestium, Norimbergae: apud Ioh. Petreium
- [81] Kepler J., 1609, Astronomia nova translated by Donahue W. H., New Astronomy Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1993
- [82] Milankovitch M., Theorie mathematique des phenomenes thermiques produits par la radiation solaire, Paris: Gauthier - Villards, 1920
- [83] Milankovitch M, Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitenproblem, Belgrad: Koniglich Serbische Akademie, 1941
- [84] Hays J D, Imbrie J & Shackleton N J, 1976, Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages, *Science* **194** pp. 1121 - 1132
- [85] Goyder R, 2006, The sundial problem from a new angle, *Eur. J. Phys.* **27** pp. 413 - 428
- [86] Berger A, Ercegovac M & Mesinger F, 2005, *Preface Milutin Milanković Anniversary Symposium Paleoclimate and the Earth Climate system* ed A Berger et al Belgrade: Serbian Academy of Sciences and Arts) p [XI]–[XII]
- [87] Stine W B & Geyer M, 2001, Power From The Sun (Power from the sun.net)  
<http://www.powerfromthesun.net/book.html> - скинуто 26.5.2021.
- [88] Khavrus V & Shelevytsky I, 2010, Introduction to solar motion geometry on the basis of a simple model, *Physics Education* **46** (6) pp. 641 - 653.
- [89] Knežević Z, 2010, Milutin Milanković and the astronomical theory of climate changes, *Europhysics News* **41** (3) pp.17 - 20
- [90] Rossi S, Giordano E & Lanciano N, 2015, The parallel globe: a powerful instrument to perform investigations of Earth's illumination, *Phys.Educ.* **50** p. 32.  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9120/50/1/32/pdf> - скинуто 26.5.2021.  
<http://www.globolocal.net/eng/project.html> – скинуто 26.5.2021.
- [91] Nielsen K H, 2013, Scientific Communication and the Nature of Science, *Science & Education* **22**, 2067 - 2086
- [92] Duschl R & Grandy R, 2013, Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science, *Science & Education* **22** 2109- 2139.
- [93] Abd-El-Khalic F, 2013, Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains, *Sci. Educ.* **22** 2087 – 2107.
- [94] a) Altamore A, et al. 2010, The Oriented World Globe at Roma Tre University,  
 b) Bartolini L & Lanciano N, 2010, Searching the Meridian at Liceo Visconti, in Galileo and the Renaissance Scientific Discourse, *Edizioni Nuova Cultura, Roma*,  
[www.communicatingastronomy.org/cap2010/posters/aldoaltamorecap2010.pdf](http://www.communicatingastronomy.org/cap2010/posters/aldoaltamorecap2010.pdf);
- [95] Torricelli E, "De motu aqvarum" 1644, in Opera Geometrica, Libri Dvo (Amatoris Maffe & Laurenti de Landis), *Florentiae Typis*, pp. 191 - 203.  
<http://archive.org/stream/operageometrica00torrgoog#page/n212/mode/2up> - скинуто 26.5.2021.
- [96] Grimsehl E, *Lerbuch der Physik*, Second enlarged and improved edition, Leipzig and Berlin, Verlag von B. G. Teubner, 1912, Fig. 261, p. 239
- [97] Biser R H, 1966, "The water can explored again," *Phys. Teach.* **4** p. 304

- [98] Atkin K, 1988, "The great water-jet scandal," *Phys. Ed.* **23** 137 - 138
- [99] Paldy L G, 1963, "The water can paradox," *Phys. Teach.* **1** 126
- [100] Atkin K, 1989, "and nothing but the truth!" *Phys. Ed.* **24** 67 - 68.
- [101] Sliško J & Cruz C, 1997, "Chorros soprendentes," *Correo del Maestro* **16** 20 - 24
- [102] Planinšič G, Ucke C & Viennot L, "Holes in a bottle filled with water: Which water-jet has the largest range?" published by the MUSE group in the Physics Education Division (PED) of the European Physical Society (EPS), 2011  
[http://www.eps.org/members/group\\_content\\_view.asp?group=85190&id=187784](http://www.eps.org/members/group_content_view.asp?group=85190&id=187784) – скинуто 26.5.2021.
- [103] Tamuli A K 1988, "Liquid flow from orifices," *Phys. Ed.* **23** 190 - 191
- [104] Lopac V, 2015, "Water Jets from Bottles, Buckets, Barrels, and Vases with Holes," *Phys. Teach.* **53** 169 - 173
- [105] Bistafa S R, 2015, "First Theoretical Constructions to the Fluid Mechanics Problem of the Discharge," *Advances in Historical Studies* **4** pp. 172 - 199
- [106] Baldwin & Cradock Library of useful knowledge, Natural philosophy, London: Baldwin & Cradock, Paternoster - Row, Hydraulics, 1829 p. 4, fig. 3
- [107] Galileo G, 1638, *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche*, intorno a due nuovesienze (Dialogues Concerning TWO NEW SCIENCES), translated by Henry Crew and Alfonso de Salvio, Macmillan, New York, 1914
- [108] Sparavigna A C, 2013, "Teaching Physics During the 17 th Century: Some Examples From the Works of Evangelista Torricelli"  
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1307/1307.4942.pdf> – скинуто 26.5.2021.
- [109] Bonera, G., *Galileo oggi*, La Goliardica Pavese, Pavia, 1995
- [110] Drake S, *Galileo at Work*, Chicago, University of Chicago Press, 1978
- [111] Borghi L, De Ambrosis A, Lamberti & Mascheretti N P, 2005, "A teaching-learning sequence on free fall motion," *Phys. Ed.* **40** (3) pp. 266 - 273
- [112] Guyon E & Guyon M Y, 2014 "Taking Fluid Mechanics to the General Public," *Annu. Rev. Fluid Mech.* **46** pp.1 – 22
- [113] Baće M, Ilijić S, Narančić Z & Bistričić L, 2002, "The envelope of projectile trajectories," *Eur. J. Phys.* **23** 637 – 642
- [114] Heppler G R & Eleuterio G D, 2013, "Generalization of Torricelli's parabola to Problems with a moving source," *Am. J. Phys.* **81** pp. 754 - 761
- [115] Avison J H, 1988, "The whole truth about water jets," *Phys. Ed.* **23** 265
- [116] Avison J H, 1989, "The last drop from the water jets," *Phys. Ed.* **24** 259
- [117] Avison J H, *The World of Physics*, Chetenham, UK: Nelson Thornes, 2014, fig. 6.2
- [118] Стевановић К, Крнета М, *Физика уџбеник за шести разред основне школе*, Београд, БИГЗ, школство д.о.о., 2008 стр.140
- [119] Лазивић Ј, *Радна свеска са збирком задатака за физику за шести разред основне школе*, Београд, Едука д.о.о., 2012 стр. 48
- [120] Вербић С, Николић Б., *Физика за шести разред основне школе*, Београд, Креативни центар, 2009
- [121] Капор Д, Шетрајчић Ј, *Физика за шести разред основне школе*, Београд, Завод за уџбенике и наставна средства, 2002 стр. 68.
- [122] Станчић Н, *Физика 7 уџбеник са збирком задатака и лабораторијским вежбама за седми разред основне школе*, Београд, Едука д.о.о., 2011
- [123] Шетрајчић Ј, Капор Д, *Физика за седми разред основне школе*, Београд, Завод за уџбенике и наставна средства, 2005. стр. 55
- [124] Радојевић М, *Физика уџбеник за б. разред основне школе*, Београд, Клетт, 2009 стр. 112.
- [125] Нешић Љ, Мишић Т, Најдановић - Лукић М, *Физика 6, уџбеник за шести разред основне школе*, Београд., Вулкан знање, 2019
- [126] Радојевић М, *Физика 6, уџбеник за шести разред*, Београд, Клетт, 2020

- [127] Bing T J & Redish E F, 2009, “Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants,” *Phys. Rev. Spec. Top. - Phys. Ed. Res.* **5** (2) 020108 – 1 – 020108 - 15.  
<https://plus.maths.org/content/os/issue29/features/quadratic/index> - скинуто 26.5.2021.
- [128] Uhden O, Karan R, Pietrocola M & Pospiech G, 2012, “Modelling Mathematical Reasoning in Physics Education,” *Science & Education*, **21** (4) pp. 485 - 506.
- [129] Budd C & Sangwin, 2004, “101 uses of a quadratic equation”
- [130] Santamaria C, *La physique tout simplement*, Paris, Ellipses, 2007 pp. 17
- [131] Grimvall G, 1987, Questionable physics tricks for children, *Physics Teacher*, **25** (6) pp. 378 - 379
- [132] Serrano D A, et al, 2016, “Trajectories of Water and Sand Jets,” in *Recent Advances in Fluid Dynamics with Environmental Applications*, edited by J. Klapp et al. *Springer International Publishing*, Switzerland, p. 289.
- [133] Kvesić Lj, Brkić S, i Zubac M, 2018, Physical Preconception of Primary Education pupils?
- [134] Mc Dermott L C, 1991, Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned Closing the gap, *American Journal of Physics*, **59** (4) pp. 301 - 315
- [135] Driver R, 1973, Student's conception and the learning of science *PhD Thesis*
- [136] Viennot L, 1979. Spontaneous reasoning in elementary dynamics, *European Journal of Science Education* **1** pp. 203 - 221.
- [137] White R, Gunstone & R, *Probing Understanding*. London and New York: The Falmer Press, 1992
- [138] Panich C, Puttharugsa C & Khemmani S, 2017, *International Conference for Science Educators and Teachers (ISET) AIP Conf. Proc.* 1923 30032-1–030032-6.
- [139] Mazur E, *Peer Instruction, A User's Manual*, New Jersey, Prentice Hall, 1997
- [140] JEAL WOLKER, Halliday. & Resnick, *Fundamentals of Physics*, 10<sup>th</sup> ed., John Wiley & Sons Inc. 2014
- [141] Pascal B, “Torricelli's Letters on the Pressure of the Atmosphere,” in *The physical treatises of Pascal: The equilibrium of liquids and the weight of the mass of the air*, (). translated by I.H.B. and A.G.H. Spiers; with introduction and notes by Frederick Barry (Columbia University Press, New York, 1937 p.163 - 170
- [142] Magalotti L, *Saggi di naturali esperienze fatte nell'academia del cimento*, Cocchini, Firenze, 1667 p. XXXIV - XXXXII
- [143] Frontali C, 2013, April, “History of physical terms: ‘pressure’,” *Phys. Ed.* **48** p. 484 - 490
- [144\*] Sliško J, Marković - Topalović T, & Božić M, 2021, The physical cause of atmospheric pressure: weight of air or molecular motion and impacts? *The Physics Teacher* **59** p. 470 - 473
- [145] Marquet F, *Cours de physique experimentale, dans laquel les elements de cette science sont mis a la portee des commencants*, Geneve, Chez A. Cherbuliez, 1841, p. 100 - 104
- [146] Landsberg G. S., *Elementarnij učebnik fiziki*, Tom I, Moskva, Nauka, 1967
- [147] Vučić. V i Ivanović D. M., *Fizika*, Beograd, Naučna knjiga, 1965, p. 241
- [148] Halliday D & Resnick R, *Physics*, New York, John Wiley & Sons, 1966 p.432
- [149] Giancoli, D. C., *Physics for scientists and engineers*, 2<sup>nd</sup> ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988 p. 227 - 228
- [150] Lerner, L. S., *PHYSICS for Scientists and Engineers* Sudbury, MA, Jones & Bartlett, 1996 p. 492
- [151] Kirkpatrick, L. D & Francis, G. E., *Physics: A World View*, 5<sup>th</sup> ed., Australia, Thomson - Brooks/Cole, 2004 p. a) 240 - 241, b) 227.
- [152] Walker, J. S., *Physics*, 3<sup>rd</sup> ed. Upper Saddle River, NJ, Pearson Education, 2007 p. 479
- [153] Hewitt, P. G., *Conceptual Physics*, 2<sup>nd</sup> ed., Boston, Addison - Wesley, 2010 p. 249
- [154] Serway, R. A., Vuille, C & Faughn, J. S., *College Physics*, 8<sup>th</sup> ed., Belmont, CA BROOKS/COLE, 2009, p. 279
- [155] Nauenberg M, May, 2015, Solution to the long - standing puzzle of Huygens' “anomalous suspension”, *Archive for History of Exact Sciences*, Vol. **69**, No. 3, pp. 327 – 341

- [156] West J B, 2013, Torricelli and the Ocean of Air: The First Measurement of Barometric Pressure, *PHYSIOLOGY* **28**: 66 – 73
- [157] Pascal, B., “Treatises on the weight of the mass of the air,” in The physical treatises of Pascal. The equilibrium of liquids and the weight of the mass of the air/translated by I.H.B. and A.G.H. Spiers; with introduction and notes by Frederick Barry New York, Columbia University Press, 1937, p. 27 – 66
- [158] Bernoulli, D., “On the properties and motion of elastic fluids, especially air,” (1738) in Kinetic theory of Gases: an Anthology of Classic Papers with historical Commentary by Stephan G. Brush, ed. by Nancy S. Hall, London, Imperial College Press, 2003 p. 57 - 65
- [159] Becker, R., Theory of Heat, Berlin, Springer Verlag, 1967 p. 75 - 128.
- [160] Resibois, P. & De Leener, M., Classical Kinetic Theory of Fluids, Wiley, New York, 1977, p. 85 - 91
- [161] Sommerfeld, A., Thermodynamics and Statistical Mechanics, Lectures on Theoretical Physics, Vol. V, New York, Academic Press, 1964, p. 174 - 180
- [162] Sommerfeld, A., Mechanics of Deformable Bodies, Lectures on Theoretical Physics, Vol. II Academic Press, 1950, p. 49 - 50
- [163] Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M., The Feynman Lectures on Physics, MA, Addison Wesley, Reading, 1963, Section 40 - 1
- [164] Atmospheric pressure, [http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric\\_pressure](http://en.wikipedia.org/wiki/Atmospheric_pressure) - скинуто 27.5.2021.
- [165] Encyclopedia Britannica, <<http://www.britannica.com/science/atmospheric-pressure>>. скинуто 27.5.2021.
- [166] The Free Dictionary by Farlex <http://www.thefreedictionary.com/atmospheric+pressure> - скинуто 27.5.2021.
- [167] Reese, R. L., University Physics, New York, Brooks/Cole Publishing, 2000 p. a) 500, b) 644, c) 600
- [168] Resnick, R., Halliday D., & Krane, K. S., PHYSICS, 5<sup>th</sup> ed. New York, John Wiley & Sons, 2002 p. 334 - 337
- [169] Cutnell, J. D., & Johnson, K. W., Physics, 6<sup>th</sup> ed., New York, John Wiley & Sons, 2004 p. 301 - 309
- [170] Knight, R. D., PHYSICS for scientists and engineers, 2<sup>nd</sup> ed. San Francisco, Pearson, Addison Wesley, 2008 p. 444 - 448
- [171] Berberan - Santos, M, N., Bodunov, E, N., & Pogliani, L., May 1997, “On the barometric formula,” *Am. J. Phys.* **65**, 404 - 412
- [172] Filippo, G., Pantellini, E., January, 2000, “A simple numerical model to simulate a gas in a constant gravitational field,” *Am. J. Phys.* **68**, pp. 61 - 68
- [173] Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J., The atmosphere, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1982, p. 140
- [174] StackExchange, “Is atmospheric pressure due to weight of air or the collisions of the molecules”, <https://physics.stackexchange.com/questions/277033/> - скинуто 29.5.2021
- [175] Bradley - Hutchison, D., 2014, “The weight of air,” *Eur. J. Phys.* **35** 6, 065007 8 p.
- [176] Krogh L B, & Nielsen K, 2013, Introduction: How Science Works - and How to Teach It. *Science & Education* **22** 2055 – 2065
- [177] Gordin D N, & Pea Roy D, 1995, Prospects for Scientific Visualization as an Educational Technology, *THE Journal Of Learning Sciences*, **4** (3) pp. 249 - 279
- [178] Jenkins A, 2013, The Sun’s position in the sky, *Eur. J. Phys.* **34** (3) pp. 633 - 652
- [179] Mazur, E., Kolegijalno podučavanje - Priručnik, Beograd, Univerzitet u Beogradu, Fizički fakultet, 2016, pp. 21 - 25
- [180] Mishkin, H. R., Jonas - Ahrend, G., Wengrowicz, N., Dori, J. Y., Assessment of visualization - rich learning environments and virtual science fairs, 2012, Haifa, Israel, Technion Israel Institute of Technology



[181] Abro, A. D., The rise of the new physics, New York, Dover Publications, inc., 1951, p. 3 – 13

## ПРИЛОГ 1

### Примена ДИНГ-а у настави

#### XXXII Републички семинар о настави физике у Вршцу (2014)

Радионица: “Интерактивна настава у учионици и изван ње“ (Вршац, 2014)

#### XXIX Републички семинар о настави физике у Врању (2011).

Радионица: “Подстицајна околина за активно учење природних наука“ (Врање, 2011)



Слика 1. Радионица на Републичком семинару наставе физике, Вршац 2014. Представљање могућности 3Д инсталација. ДИНГ у Шапцу.



Слика 2. Радионица на Републичком семинару наставе физике (Вршац 2014).

Дефинисање позиција оса и упознавање са осунчавањем на ДИНГ-у. Упоредивање са начином осунчавања паралелног глобуса у Врту науке у Реховоту, Израел (равнодневица, дугодневица, краткодневица).



**Слика 3.** Позиционирање паралелних оса, (Републички семинар, 2014. Вршац)



**Слика 4.** Радионица на XXIX Републичком семинару о настави физике, (Врање 2011). Модел ДИНГ-а и одређивање скале сферног сунчаног часовника. Радионицу води проф. др Мирјана Поповић-Божич

## ПРИЛОГ 2

### XXXVII Републички семинар наставе физике у Кладову 2019.

*Радионица “Из часописа и уџбеника у школски простор”*

Галилејева стрма равна и жлебови (демонстрација)

Инсталације из Земунске гимназије везане за пројекат “Подстицајна околина за учење природних наука – ПОКО”



**Слика 1.** Реплика оригиналне стрме равни са звончићима из Галилејевог времена. (Земунска гимназија)



**Слика 2.** Реплика оригиналне стрме равни са звончићима из Галилејевог времена.

Галилеј је мерио путеве које тело прелази у једнаким временским интервалима, при чему пређени путеви стоје у међусобном односу као низ узастопних непарних бројева. На Галилејевој стрмој равни, на крајевима путева које тело прелази у једнаким временским интервалима постављени су звончићи. Временски интервал се мери клатном.



**Слика 3.** Галилејеви жлебови.

Демонстрација решења проблема кретања тела по тетивама вертикалне кружнице. Кроз обруч од метала на којем се налазе мали отвори, провуку се нити, тако да крајеви свих нити пролазе кроз један отвор на врху, док се други крајеви лезасто шире представљајући тетиве кружнице која има обим приказаног обруча. На свакој нити, налази се по једна перла, истих особина. Ако се све куглице пусте да падају из заједничког почетка истовремено, оне у истом тренутку падају на обруч. Демонстрира наставник физике Биљана Стојичић, Земунска гимназија.



**Слика 4.** Галилејеви жлебови. Демонстрација истовремености падања куглица низ тетиве кружнице металног обруча.

## ПРИЛОГ 3

### XXXVII Републички семинар о настави физике, Кладово 2019.

*Радионица: “Из уџбеника и часописа у школски простор.”*

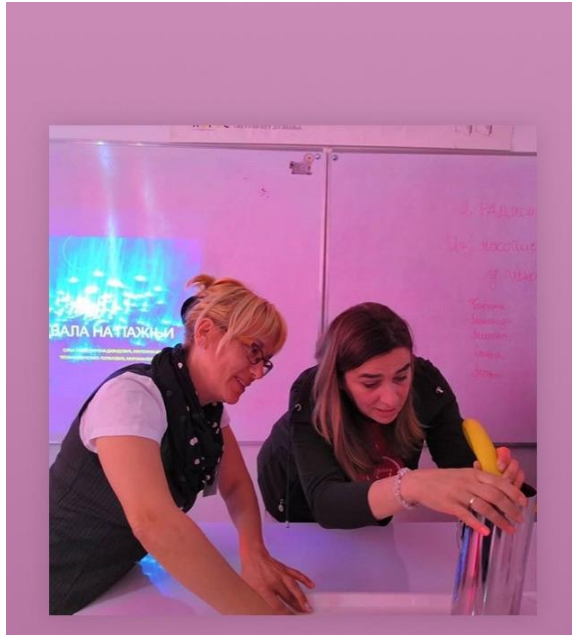
Демонстрација млазева код Торичелијеве фонтане. Цилиндрични суд са три отвора на једнаким растојањима.



Слика 1. Припрема за демонстрацију млазева код Торичелијеве фонтане



Слика 2. Демонстрација рада Торичелијеве фонтане,



**Слика 3.** Одржавање сталног нивоа течности у цеви, преливним системом (Торичелијева фонтана).



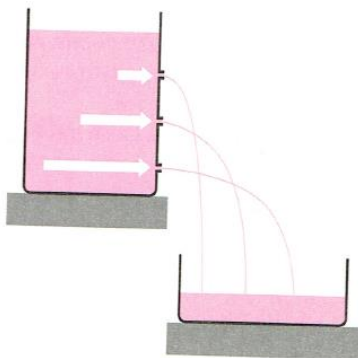
**Слика 4.** Пресек три млаза из Торичелијеве фонтане (Кладово, мај 2019).

## ПРИЛОГ 4

### Слике Торичелијеве фонтане у уџбеницима у Србији

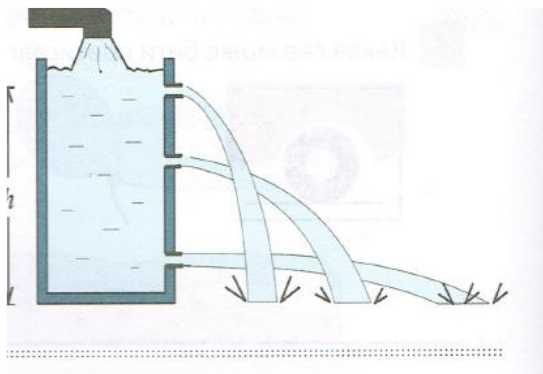
1. Стевановић, К., Крнета, М., Физика уџбеник за шести разред основне школе, Београд, БИГЗ, школство д.о.о. 2008, стр. 140

Текст из уџбеника: "На слици је приказана посуда са бочним отворима. Зашто се млазеви разликују? Хидростатички притисак на бок суда расте са порастом дубине."



2. Лазић, Ј., Радна свеска са збирком задатака за физику за шести разред основне школе, Београд, Едука д.о.о. 2012, стр.48

Текст из књиге: "Притисак који врши течност која мирује на одређеној дубини већи је што је већа висина течности."



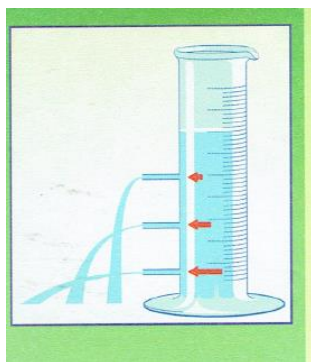
3. Вербић, С., Николић, Б., Физика за шести разред основне школе, Београд Креативни центар, 2009

Текст из књиге: "Притисак у течностима, не зависи од облика суда или масе течности. Он зависи само од дубине на којој меримо. Код спојених судова дубину меримо од заједничке равни, која представља границу између течности и ваздуха изнад ње."

4. Капор, Д., Шетрајчић, Ј., Физика за шести разред основне школе, Београд, Завод за уџбенике и наставна средства, 2002, 68. стр.

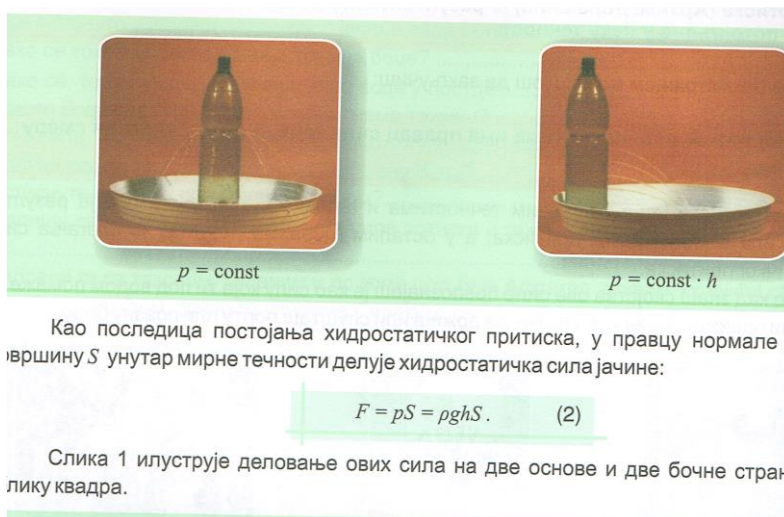
Текст из књиге: "Да хидростатички притисак на стране суда расте са порастом висине стуба течности, може се показати помоћу суда са више једнаких бочних отвора (слика 7.4), који се налазе један испод другог. Када се суд напуни водом и извуку чепови, запазиће се да је кроз најнижи отвор млаз воде најјачи. Ово потврђује да је на том отвору и највећи хидростатички притисак."





5. Станчић, Н., Физика 7 уџбеник са збирком задатака и лабораторијским вежбама за седми разред основне школе, Београд, Едука д.о.о. 2011

Текст из књиге: “На било ком месту у течности, вредност хидростатичког притиска је зависна од густине, убрзања силе теже  $g$ , на дубини течности  $h$ .”



6. Шетрајчић, Ј., Капор, Д., Физика за седми разред основне школе, Београд, Завод за уџбенике и наставна средства, 2005, стр. 55

Текст из књиге: ”Да хидростатички притисак на стране суда расте са порастом висине стуба течности, може се показати помоћу суда са више једнаких бочних отвора (слика 4.5) који се налазе један испод другог. Када се суд напуни водом и извуку сви чепови, запази се да је кроз најнижи отвор млаз најјачи. Ово потврђује да је на том отвору и највећи хидростатички притисак.



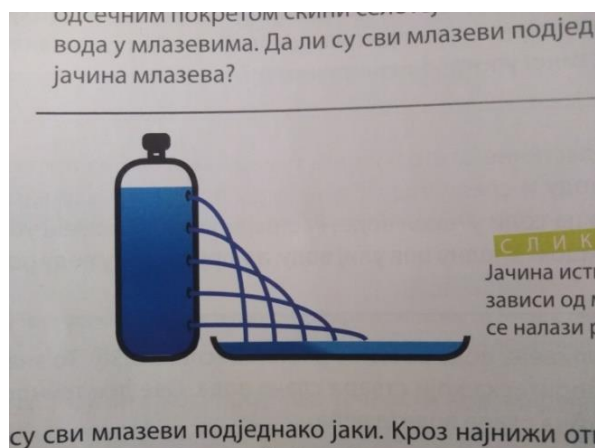
Слика 4.5

7. Радојевић, М., Физика уџбеник за 6. разред основне школе, Београд, Клетт, 2009 стр. 112

Текст из књиге: ”Млаз који излази из најнижег отвора (Б) допире до највеће удаљености од посуде. Закључак: На нивоу сваког отвора делује притисак који потиче од воде која се налази изнад тог отвора. Тај притисак се преноси и бочно на зид посуде. Што је отвор на већој дубини то је већи притисак (слика 6.14).



8. Нешић, Љ., Мишић, Т., Најдановић - Лукић, М., Физика 6, уџбеник за шести разред основне школе, Београд, Вулкан знање, 2019



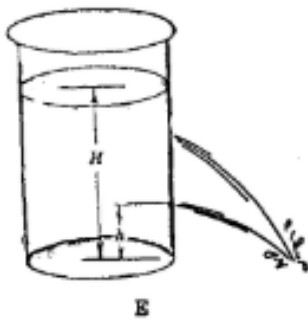
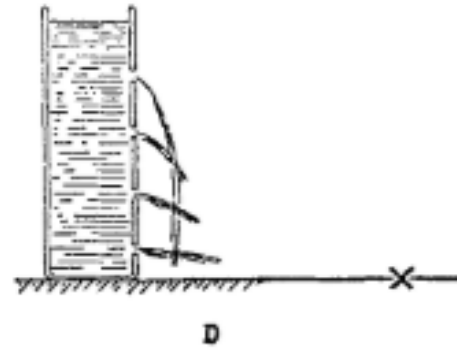
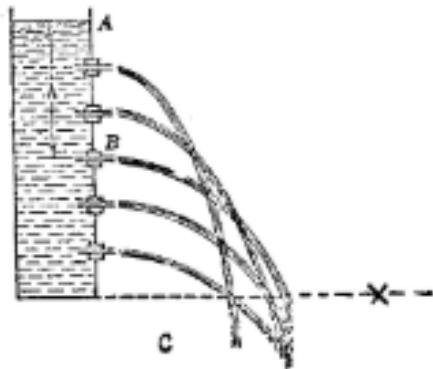
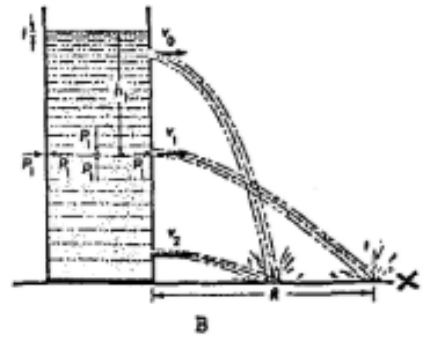
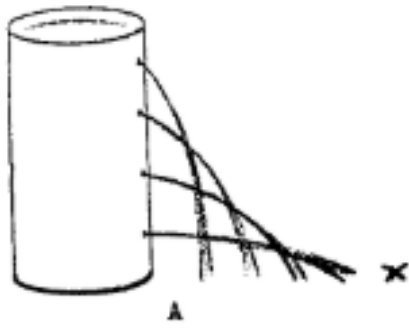


Слике Торичелијеве фонтане у страним уџбеницима

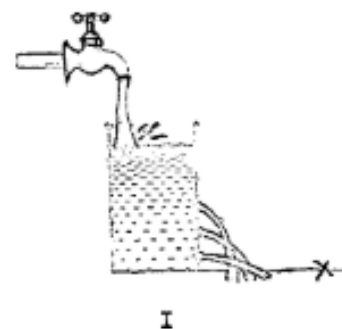
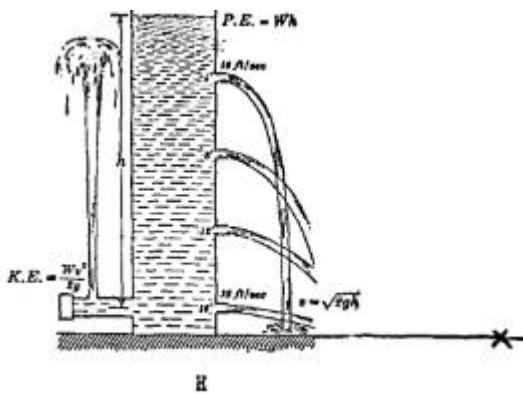
Списак уџбеника из Бизеровог рада [97] у којима се налазе погрешне слике принципа рада Торичелијеве фонтане. (Ознаке референци су усклађене са ознакама слика из представљеног чланка из 1965. године).

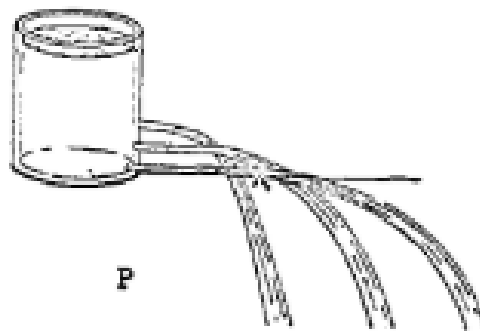
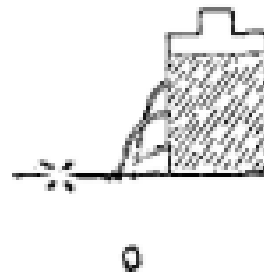
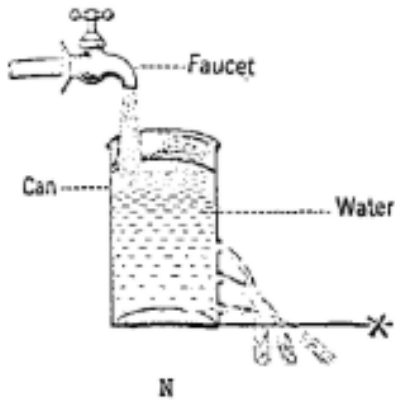
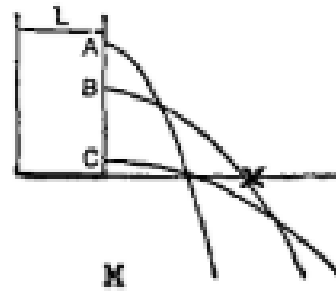
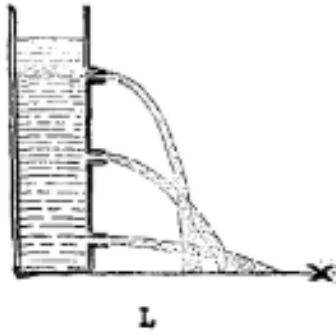
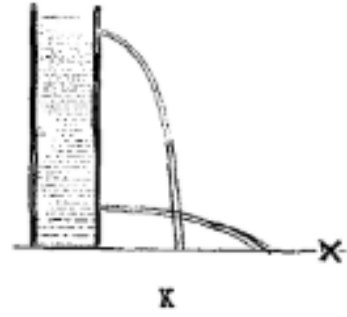
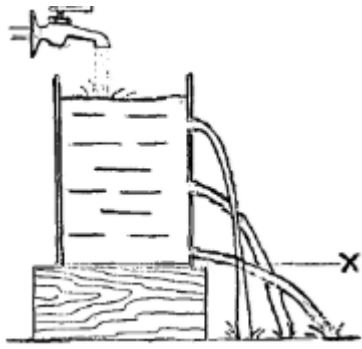
- A) Rosen, A., Dennison, & Siegfried, Concepts in Physical Science, New York, Harper and Row, 1965
- B) White, B., E. H., Descriptive College Physics, 2<sup>nd</sup> ed., N.J., Van Nostrand, Princeton, 1963
- C) Mendenhall, E., Keys, & Sutton, College Physics, 4<sup>th</sup> ed., Boston, D.C. Heath, 1956
- D) Gamow, G. Matter, Earth and Sky, Englewood Cliffs, N.J., Prentice - Hall, 1958
- E) Kingsbury, R. F., Elements of Physics, Princeton, N. J., D. Van Nostrand, 1965
- F) Brandwein, J., Pollack, M. & Castaka, A Sourcebook for the Physical Sciences, New York, Harcourt, Brace, and World, 1961
- G) Bonner & Phillips, Principles of Physical Science, Reading. Mass., Addison - Wesley, 1957
- H) Black, N. H., Introductory Course in College Physics, Rev. Ed., New York, Macmillan, 1941
- I) Burnett, D., & Gross, Science 3, New York, Henry, Holt, 1952
- J) Hogg, Cross, & Vordenberg, Physical Science, Princeton, N.J., D. Van Nostrand, 1959
- K) Stewart, Cushing., & Towne, Physics for Secondary Schools, Boston, Ginn, 1932
- L) Whitman., & Peck., Physics, New York, American Book Co, 1950
- M) Hausmann., & Slack., Physics, New York, D. Van Nostrand, 1939
- N) Davis, Burnett., & Gross., Science 3, New York, Holt, Rinehart & Winston, 1961
- O) Ideas for Teaching Science in the Junior High School, National Science Teacher Association, Washington, D.C. 1963
- P) Obourn, Heiss., Montgomery., & Lape., Activities for Exploring in the World of Science, Princeton, N.J., D. Van Nostrand, 1963
- Q) Avison J H, 1988, The whole truth about water jets, *Phys. Ed.* **23** p. 265 [115]  
Avison J H, 1989, The last drop from the water jets *Phys. Ed.* **24** p. 259 [116]  
Avison, J. H., (2014) The World of Physics, Chetenham, UK: Nelson Thornes, Fig. 6.2

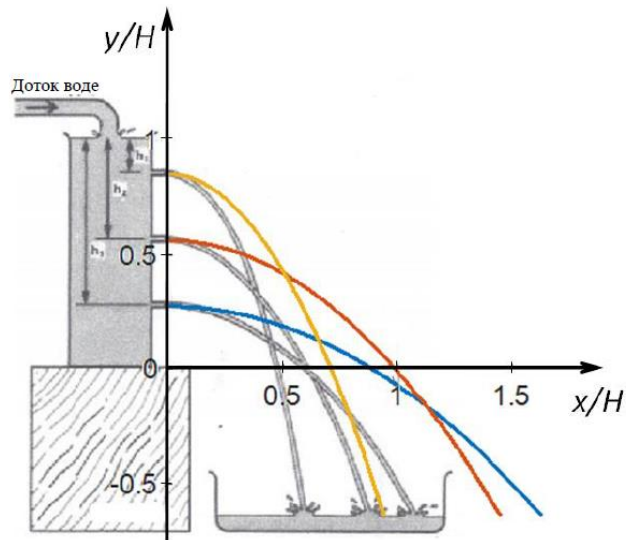
[119]



G







Q) Ависонови цртежи трајекторија млазева

Путање које је нацртао Ависон се значајно разликују од трајекторија виђених експериментално [22\*, 55, 95, 101, 102]. Ависонове трајекторије као и трајекторије у многим другим уџбеницима се не слажу са обликом трајекторија које се добијају анализом квадратне функције и решавањем квадратне једначине трајекторије млаза из Торичелијеве фонтане.

## Биографија аутора



Марковић - Топаловић Татјана рођена 24.3.1969. у Пожаревцу. Дипломирала на Физичком факултету у Београду 1996. Стручни испит за лиценцу наставника положила 1996, магистрирала на Департману за физику, ПМФ-а у Новом Саду 2009. Радила у следећим школама: Гимназија шабачка 1992 - 1999, Школа за примењене уметности 1998 - 2004, и Медицинска школа „Др Андра Јовановић“ од 2004. до данас. Објавила више стручних радова из области наставе физике у страним и домаћим часописима. Учествовала у више европских пројеката и пројеката које је расписало МПНТР и ЦПН.

- 1) Greenwave Europe project „Signs of spring“ FP7
  - 2) Projects Concours LAMAP 2015
  - 3) Подстицајна околина за учење природних наука-ПОКО-пројекат.
  - 4) Аутор и коаутор Парка науке у Шапцу.
- 2012 - 2014 члан Управног одбора ДФС-а.  
2014 - 2016. члан Управног одбора ДФС-а.  
2021 - члан Управног одбора ДФС-а.  
2012, 2013 члан организационог одбора Републичког семинара о настави физике.  
2014. Представник физичара медицинских школа Србије при ДФС-у  
2015, 2016. Члан стручног одбора Републичког семинара о настави физике.  
2015. Кандидат Друштва физичара Србије за члана Националног просветног савета  
Коаутор и реализатор семинара Физика у медицинској едукацији, 2007/2008.  
Коаутор и реализатор семинара Физика у медицинској едукацији 2008/2009.  
2012 - 2017. била учесник у раду стручног и организационог одбора Републичког семинара о настави физике ДФС-а.  
Добитник награде „Најбољи едукатори Србије“ за 2014. годину.  
Представник Србије на такмичењу за најбољег наставника света, Global teacher Prize (Dubai 2019.)  
Mois de la science franco serbe Prix „La main a la pate“2012 Mme Tatjana Topalović,  
UNAWE Certificate of Appreciation to Tatjana Markovic Topalovic  
ATTESTATION for successfully attended to the Serbian and Montenegrin Teachers Programme held at CERN, Geneva, Switzerland, from 25 - 31 October 2009, (twice), and 8 - 15 August 2015. comprising 80 hours of working time.

Удата, супруга електроинжењера и мајка две ћерке од 34 и 22 године, (једна је инжењер организационих наука, друга похађа трећу годину Електротехничког факултета у Београду.) Верује да се променама у образовању, мења свет. Живи и ради у Шапцу.

## Изјава о ауторству

Име и презиме аутора Тањана Марковић - Тоћеновић

Број индекса 3011/2016

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

Едукациона визуелизација физичких феномена  
у парку науке и школском простору

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

### Потпис аутора

У Београду, 1.6.2021.

др. Тањана Марковић Тоћеновић



## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Ташијана Марковић - Тоцановић

Број индекса 8011/2016

Студијски програм Насићова физике

Наслов рада Едукациона визуелизација физичких феномена у парку науке и школском

Ментор проф др Андријана Штекић

Центру

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис аутора**

У Београду, 1.6.2021.

др Ташијана Марковић Тоцановић

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Едукациона визуелизација физичких феномена  
у чланку науке и школском контексту

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)
2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)
3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)
5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)
6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци.  
Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

у Београду, 1.6.2021.

др Кристијана Милошевић Станковић