

ОДРЕЂИВАЊЕ И ПРИМЕНА МЕРИДИЈАНА

М. БОЖИЋ, Д. ЦУЦИЋ, Т. МАРКОВИЋ-ТОПАЛОВИЋ**, И. САВИЋ***, Ј. ПОПОВИЋ*****

Институт за физику, Београд, bozic@ipb.ac.rs

**Центар за таленте „Михајло Пупин“, Панчево, dragoljub.cucic@gmail.com*

***Медицинска школа, Шабац, natal@sezampro.rs*

****Друштво физичара Србије, Београд, isavic@ipb.ac.rs*

*****Exponent, Natick, MA 01760, USA, jelena.m.popovic@gmail.com*

САЖЕТАК

Описане су методе одређивања спољашњег и унутрашњег меридијана. Унутрашњи меридијан у базилици Сан Петронио у Болоњи је у време реформе Јулијанског календара изградио Егнацио Данти у циљу мерења дужине године (време између два узастопна проласка Сунца кроз γ тачку). Око сто година касније Касини је у истој базилици изградио нови, дужи меридијан са циљем провере претходних мерења дужине године као и са намером да демонстрира ваљаност Кеплерових закона. У раду показујемо да би меридијан, као посматрачки и мерни инструмент, био веома користан у школском простору, јер би се могао применити у општем образовању из физике, астрономије, географије, математике и историје.

Кључне речи: меридијан, грегоријански календар, гринички меридијан, други Кеплеров закон, базилика Сан Петронио у Болоњи, меридијан у образовању

СПОЉАШЊИ МЕРИДИЈАН

Меридијан у географији значи имагинарну велику кружницу на Земљи која обухвата јужни и северни пол. Астрономски меридијан је имагинарна велика кружница на небеској сфери која пролази кроз северни и јужни небески пол. Линија означена на хоризонталној подлози дуж меридијана на Земљи се назива локална линија меридијана, односно линија меридијана или кратко меридијан.

У антици, локални меридијан је одређиван помоћу високог стуба на отвореном простору, праћењем промене његове сенке. Сенка стуба лежи дуж меридијана када Сунце

достиге највиши положај, тј. пролази кроз локалну равну меридијана. Веома је познат меридијан на централном тргу у Прагу, одређен на тај начин. Најпознатији и од посебног значаја за мерење времена у савременом добу је Гринички меридијан у Лондону.

* Меридијан на Старом градском тргу у Прагу (14°25'17")

Маријанин стуб и меридијан на Старом градском тргу у Прагу (слика 1) су од 1650. до 1918. коришћени да се грађани обавесте када је подне. Маријанин стуб је срушен за време револуције 1918, јер је сматран симболом Хабзбуршке монархије [1]. Недавно је покренута иницијатива да се стуб поново изгради.



Слика 1. лево) Маријанин стуб (лево) на Старом градском тргу у Прагу [1a]; десно) Локални меридијан и плочица постављена 1990 (десно) са натписом на енглеском и латинском „Меридијан, помоћу кога је одређивано време у Прагу“ [1b].

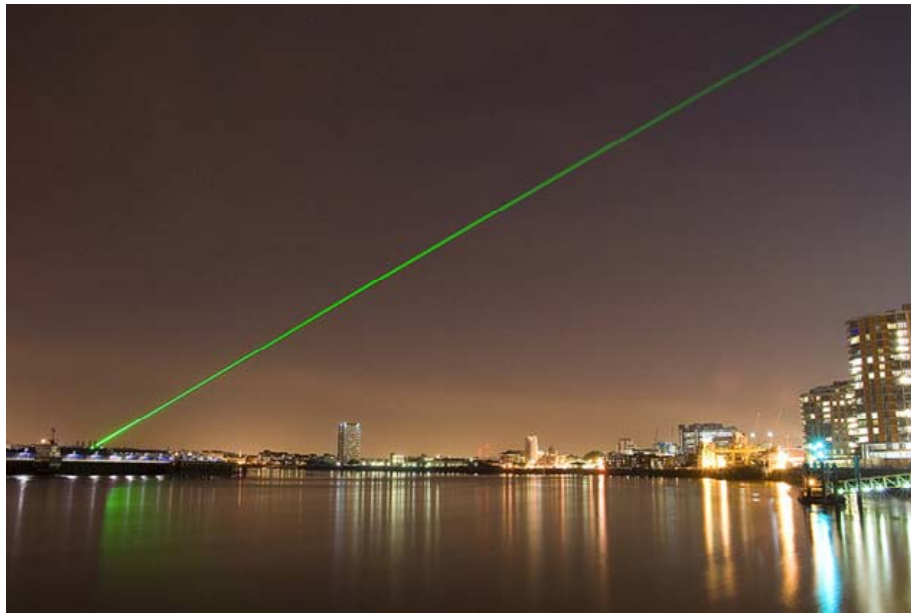
* Гринички меридијан (нулти меридијан)

Од посебног значаја за мерење времена у савременом добу је нулти меридијан (слика 2, лево) који пролази кроз Гринич у Лондону (слика 2, десно). На међународној конференцији о меридијану, одржаној у Вашингтону 1884, делегације 22 земље, од 25 присутне делегације, су гласале да се Гринички меридијан прогласи за нулти меридијан. Гринички меридијан, као нулти меридијан је већ био широко у употреби у поморству [2], па је ово гласање у ствари озваничило ту праксу. На источној и западној траци Гриничког меридијана су означени извесни градови и њихове лонгитуде. 1.6 милиона посетилаца посети Гринич сваке године (слика 2, десно).



Слика 2. лево) Нулти меридијан, <http://www.portcities.org.uk/london/server/show/conMediaFile.6130/The-Prime-Meridian-at-Greenwich.html>; десно) Ауторка ЈП на локалном меридијану у Гриничу.

Данас се из Greenwich Royal Observatory емитује светлост из ласера у правцу Северног небеског пола (слика 3). Пројекција ласерског зрака је дуж линије меридијана. Ласерски зрак и његова пројекција одређују локалну раван меридијана.



Слика 3. Ласерски зрак који се емитује из Краљевске обсерваторије у Гриничу. http://farm1.static.flickr.com/113/268101890_d6be85edd7.jpg

The Dolphin Sundial у Гриничу (слика 4) указује на значај и улогу меридијана за мерење времена и успостављање универзалног времена (UT). Гномон овог часовника формирају два врха од репова два делфина, који се скоро додирују. Репови дају сенку на лицу часовника на коме су угравиране дебеле криве линије, које означавају часове, и танке криве линије које означавају минуте. Линије су криве, а не праве, да би се узеле у обзир промене током године Сунчевог дневног кретања.

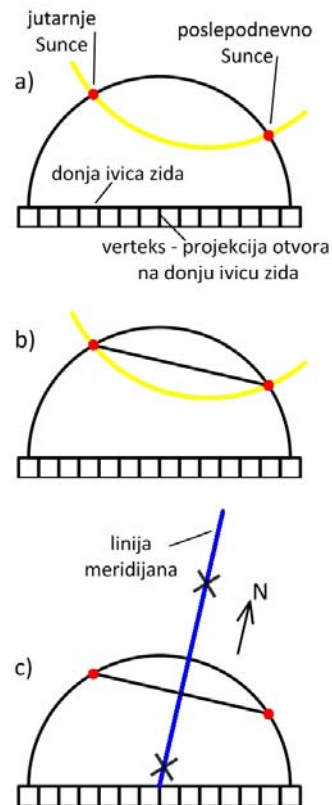
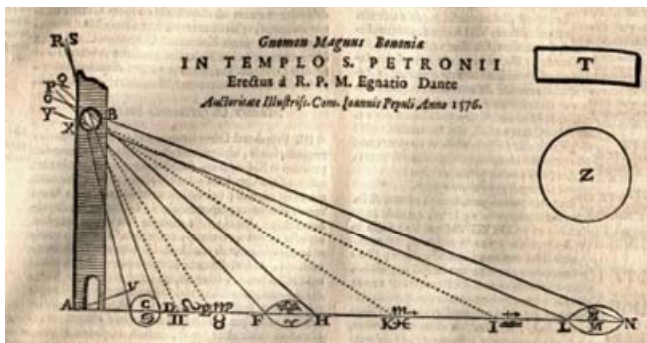


Слика 4. Делфинов сунчани часовник (The Dolphin Sundial) у Гриничу.

УНУТРАШЊИ МЕРИДИЈАН

Унутрашњи меридијан, као посматрачки и мерни инструмент се према садашњим знањима [3] појавио у XIV веку. Голдштајн пише [3] да је хебрејски астроном Леви бен Герсон (1288-1344) први описао два метода да се одреди локална линија меридијана унутар неке зграде.

Уместо обелиска користи се мали отвор, односно провидан диск на зиду или крову зграде, кроз који пролази зрак светлости (слика 5, лево). Метод одређивања унутрашњег меридијана користи симетрију. Из вертекса (пресек нормале из отвора и равни пода) се нацрта кружни лук произвољног полупречника (слика 5, десно). Пратећи дневну путању зрака на поду зграде, уоче се две пресечне тачке путање зрака са нацртаним луком. Нормала на праву повучену кроз те две тачке даје правац локалног меридијана (слика 5, десно).



Слика 5. лево) Скица унутрашњег меридијана који је конструисао Е. Данти у базилици Сан Петронио у Болоњи, објављена у *Almagestum Novum* од Riccoli, 1576; десно) Приказ метода одређивања правца меридијана.

Дакле, меридијан је линија дуж које се током године нижу слике Сунца на хоризонталној подози у тренуцима проласка Сунца кроз раван локалног меридијана (транзит).

* Конструкција унутрашњег меридијана у Фиренци и Болоњи у току реформе Јулијанског календара

Хајлброн [4] и Боноли [5] су веома детаљно пропратили кроз историју, почев од 1475, како је унутрашњи меридијан у црквама у Фиренци и Болоњи допринео развоју астрономије и календара, посебно усвајању Грегоријанског календара који је данас у широкој употреби.

Најпре је 1475. П. Тосканели изградио унутрашњи меридијан у Санта Марија дел Фиоре у Фиренци. Е. Данти је, уз подршку Косимо и де Медичи, радио на изградњи унутрашњег меридијана у периоду 1571-1574. Циљ је био мерење дужине тропске године ради реформе Јулијанског календара. Али, после смрти Косимо и де Медичи, 1574, рад бива прекинут и Е. Данти 1575. године прелази у Болоњу, где предаје математику и астрономију и постаје члан комисије Папе Грегорија XIII за реформу календара. Одмах по доласку је конструисао меридијан у соби резервисаној за инквизицију [4]. Отвор је био на

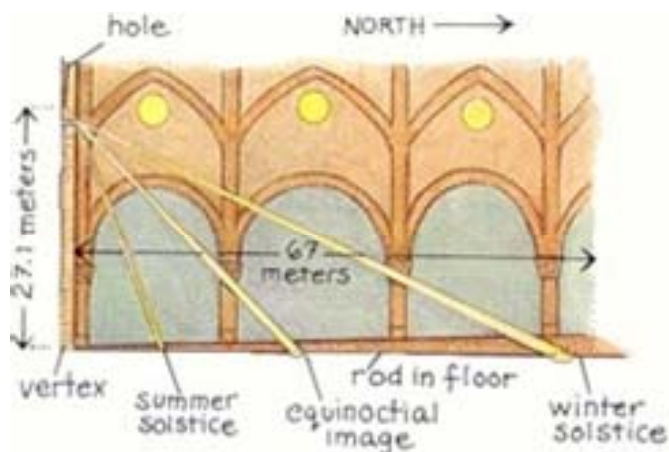
висини 4 m а дужина линије меридијана 6.4 m. Али, Данти је тражио место да постави дужу линију меридијана. Нашао је идеално место, базилику Сан Петронио у Болоњи.

Дуго година Сан Петронио је била црква Универзитета. Градња базилике је почела 1390. а завршена је 1659, али фасада до дана данашњег није завршена. Од шеснаестог до деветнаестог века Универзитет се налазио врло близу базилике Сан Петронио и црквено звоно, познато као “la scholaraga” је звонило да обавести студенте да почињу предавања.

Данти је 1576. конструисао меридијан унутар Сан Петронио у Болоњи. Због положаја стубова Данти је морао да меридијан помери за 9° у односу на прави правац меридијана на томе месту. Украсио је линију са плочама које су приказивале пролазак Сунца током године кроз сазвежђа дуж еклиптике. Дантијева мерења су делимично послужила при доношењу Грегоријанског календара, који је усвојен и проглашен 1582. Дантијев меридијан је служио још 75 година.

* Велики меридијан који је пројектовао Касини у Сан Петронију 1655.

1655. године, астроном Касини је предложио да се у Сан Петронију изгради меридијан који ће бити знатно дужи од Дантијевог меридијана (слика 6). Предлог је прихваћен. Циљ је био да се провери дужина тропске године што је могуће тачније. У лето 1655. Касини је позвао грађане и универзитетске професоре да присуствују проласку слике Сунца преко линије меридијана. На слици 7 су снимци проласка слике Сунца преко меридијана у Сан Петрониу које је снимио Р. Барефорд [6] за време равнодневице 2000. године.



Слика 6. Скица Касинијевог гномона (отвора на зиду) и меридијана у базилици Сан Петронио у Болоњи [4].

Касинијева мерења 1655, и касније са сином, су потврдила коректност Грегоријанске реформе, а тиме и предвиђање да 1700. година треба да буде изостављена као преступна.



Слика 7. Прелазак Сунчевог диска преко Касинијевог меридијана, дан 20 марта 2000 [6].

Касинијева јавна намера је била да провери ваљаност Грегоријанског календара. Тајна намера је била да конструише инструмент који ће да разреши питање из расправе о хелиоцентричном и геоцентричном систему, која је започела после објављивања дела Николе Коперника, *Little Comentary*, 1512. и *De Revolutionibus Orbium Caelestium*, 1543. Ђордано Бруно је спаљен 1600. зато што је ширио Коперниково учење. Године 1616. Коперниково дело “*De Revolutionibus...*” је стављено на списак забрањених књига (*Index Librorum Prohibitorum*). Године 1609. Кеплер је објавио дело *Astronomia Nuova* а 1627. дело “*The Rudolphine Tables of planetary motions*”. У овим делима су објављена три закона о кретању планета око Сунца, које називамо Кеплерови закони. Галилео Галилеј, родоначелник експерименталног метода у физици, је био истакнут следбеник Коперникове теорије. Године 1633. Галилеј је осуђен од стране Римске инквизиције да се одрекне Коперникове теорије. Обзиром на овакав след догађаја после објављивања Коперникове теорије о Сунчевом систему, објашњиво је зашто Касини није јавно истицао основни циљ изградње великог меридијана.

Користећи велики меридијан у Сан Петронију, Касини је одредио промене привидног пречника Сунца током године са тачношћу од једног лучног минута. Пошто је привидни пречник Сунца обрнуто сразмеран растојању између Земље и Сунца, мерећи промене пречника током године Касини је пратио промене растојања између Земље и Сунца. Користећи велики меридијан у Сан Петронију, Касинији је утврдио да је пречник слике Сунца на поду 26cm у лето, а да су линеарне димензије слике 168cm x 64cm у зиму (слика 8).



Слика 8. Линеарне димензије слике Сунца у Сан Петронију у току зимског солстиција су 168cm x 64cm [4].

Захваљујући прецизности мерења, Касини је дао директну потврду Кеплерових закона, а тиме и доказ у прилог Коперниковој теорији према којој је Земља једна од

планета Сунчевог система. Према првом Кеплеровом закону, Земља се креће по елиптичној путањи око Сунца и налази се у једној жижи те елипсе [7]. Детаљи везани за Касинијево мерење су веома поучни и Хајлброн их је веома систематично приказао а Т. Фун [8] и Н. Ленг [9] су још детаљније допунили тај приказ.

ПОДСТИЦАЈНА ОКОЛИНА ЗА АКТИВНО УЧЕЊЕ ПРИРОДНИХ НАУКА

Наведени историјски радови и знања се могу применити у општем образовању из физике, астрономије, географије и математике. Могу се користити да се проблемски задаци из оптике, геометрије, гравитације, астрономије формулишу у контексту развоја знања о кретању планета у Сунчевом систему. Као посматрачки инструмент меридијан (спољашњи или унутрашњи) би био веома користан у школском простору.

У оквиру пројекта „Подстицајна околина за учење природних наука“ [10] у току су договори да се у неким школама и јавним просторима у Србији обележи меридијан и користи као наставно средство. Ово је у складу са општим циљем тога програма [11], да се кроз изградњу различитих инструмената за демонстрацију и посматрање природних феномена у школском простору, тај простор учини подстицајним и употребљивим за активно учење природних наука.



Слика 9. Разговор ауторке рада МБ са Министром просвете Жарком Обрадовић о пројекту „Подстицајна околина за учење природних наука“ на отварању изложбе “Милутин Миланковић као грађевинар”, у холу Народне банке Србије, јуна 2010.

***Показивач страна света и рам у равни меридијана, на Копаонику (1436 m надморске висине)**

Потражили смо да ли је негде у Србији означена линија меридијана. Нисмо нашли линију меридијана, али смо на брду Сама буква на Копаонику нашли показивач страна света са рамом на врху, који лежи у равни меридијана (слика 10, лево). Ово смо проверили посматрањем и мерењем помоћу вертикалног стуба на који смо поставили таблу од стиропора са кружним отвором (слика 10, десно). Таблу смо поставили тако да буде паралелна раму на показивачу страна света.



Слика 10. лево) Показивач страна света са правоугаоним рамом у равни меридијана на брду Сама буква на Копаонику. десно) Стуб (висине 167cm) и стиропор плоча (40cmx50cmx3cm) са кружним отвором (полупречника 10 cm), постављен да би се одредио правац меридијана и пратила промене облика сенке плоче са кружним отвором.



Слика 11. У току посматрања врх сенке смо бележили помоћу белих каменчића, најпре у интервалима по 30 минута а касније по 15 минута. Мерење је почело у 10h (лево) када је нацртан кружни лук са центром у подножју стуба. Полупречник тога лука је једнак дужини сенке стуба на почетку мерења, која је износила 160cm. Дужина сенке је постала најкраћа у интервалу између 12:45 и 13:00. Фотографија у средини је начињена у 12:45 када се сенка плоче свела на дебљу праву на којој се не препознаје кружни отвор. Потом се дужина сенке стуба повећавала а слика кружног отвора постепено добијала кружни облик. Десно је сенка у 15:15h.

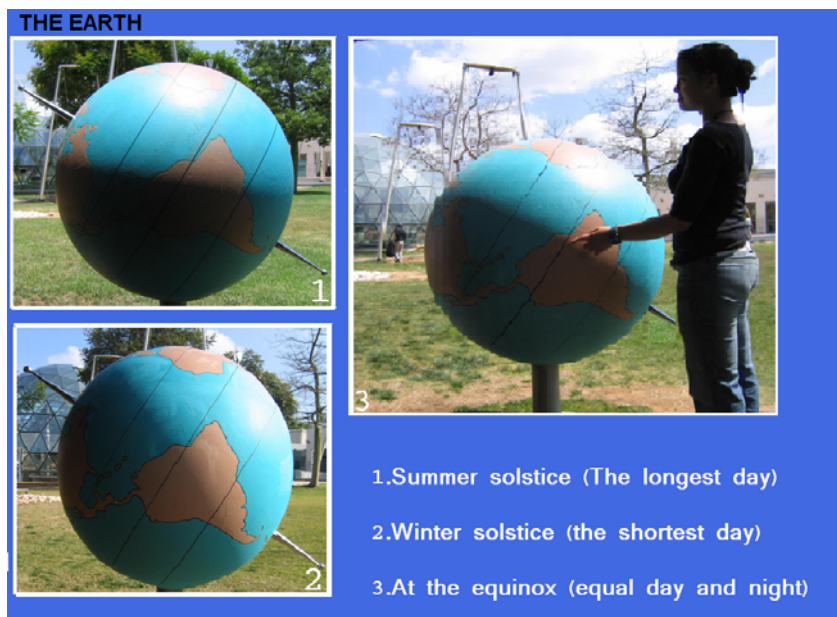


Слика 12. лево) Сенка је поново додирнула кружни лук који минут пре 15h. У том тренутку смо између почетне и крајње тачке на кружници затегнули мерну траку. Дужина тетиве је износила 304cm. десно) Штап који спаја дно стуба и средину тетиве показује правац меридијана.

Испод показивача страна света поставили смо други штап у правцу пројекције рама на подлогу. Мерењем је показано да су штапови испод показивача и испод стуба са стиропор плочом паралелни. Тако смо потврдили да показивач правилно показује стране света као и да правоугаони рам лежи у равни меридијана. Измерено време најкраће сенке, тј. време када је Сунце прошло кроз раван меридијана (било у зениту) се добро слагало са јавно објављеним временом зенита у Србији (12:44).

***Меридијан на Дан И Ноћ Глобусу (ДИНГ)**

У дане равнодневица (око 21 марта и 23 септембра) граница између дана и ноћи се поклапа са локалним меридијаном на Земљи, али и на глобусу који има исту оријентацију у простору као Земља (слика 13). Овако постављен глобус је назван ДИНГ, што је скраћеница од Дан И Ноћ Глобус. У току једног дана та граница се помера равномерном брзином, и тако пребрисава све меридијане, како на Земљи тако и на ДИНГ-у [11]. На дан дугодневице и краткодневице апсолутна вредност угла између меридијана и терминатора (граничне линије између дана и ноћи) је 23.5° (што се такође види на слици 13).



Слика 13. ДИНГ у Clore garden of Science у Вајцмановом Институту у Израелу [12].

Први ДИНГ у Србији, изграђен је у Шапцу и постављен у Великом Парку у томе граду, а по угледу на ДИНГ у Вајцмановом институту у Израелу. Врло брзо, ДИНГ је постао омиљено место за наставу у отвореном простору (слика 14). Али, ДИНГ је постао и омиљено место за младе који воле тајно, под велом ноћи да се по њему потписују. Због тога је у септембру 2011 ДИНГ премештен у Центар за стручно усавршавање у Шапцу.



Слика 14. Ученици после часа одржаног поред ДИНГ-а у Шапцу са њиховом професорком и једном од ауторки рада (ТМТ).

Крајем септембра 2011, отворен је Парк науке на Ади Циганлији у Београду, са шест интерактивних инсталација. Једна од тих инсталација је и ДИНГ.

ЗАКЉУЧАК

Као посматрачки инструмент меридијан (спољашњи или унутрашњи) би био веома користан у школском простору јер је веома применљив у настави физике, астрономије, географије и математике, што се види из најновијих истраживања [8,9] у свету. У оквиру пројекта „Подстицајна околина за учење природних наука“ [10] у току су договори да се у неким школама и јавним просторима у Србији обележи меридијан и користи као наставно средство. Ово је у складу са општим циљем тога програма, да се кроз изградњу различитих инструмената за демонстрацију и посматрање природних феномена у школском простору, тај простор учини подстицајним и употребљивим за активно учење природних наука [11]. Активно учење подразумева проверавање знања која се предају и уче. Меридијан је веома погодан за формулисање конкретних задатака и проблема у циљу провере знања из астрономије, оптике и геометрије, а тиме и знања о мерењу времена и календару.

ЗАХВАЛНОСТ

Аутори се захваљују Министарству просвете и науке Србије за финансијску подршку овој раду кроз пројекте „Подстицајна околина за учење природних наука“ и „Физика уређених наноструктура и нових материјала“ (ОН171005).

РЕФЕРЕНЦЕ

- [1] a) www.marianskysloup.cz; b) <http://www.kralovskacesta.cz/en/tour/objects/prague-meridian-14-25-17.html>
- [2] Dava Sobel: „Longitude“, Fourth Estate, London, 1996.
- [3] B. R. Goldstein: „Before the Sun in the Church“, *Journal for the History of Astronomy*, **32**, part 1, 73-77, 2001; www.pitt.edu/~brg/pdfs/brg_iii_8.pdf
- [4] J. L. Heilbron: „The Sun in the Church“, *The Sciences* **39** no. 5, 29-35, 1999.
- [5] F. Banoli: „1655-2005: 350 Years of the Great Meridian Line by G.D. Cassini in the Basilica of San Petronio in Bologna“, http://www.bo.astro.it/universo/cassini/meridian_ing.htm
- [6] R. Bareford: „*The Solar Observatory of San Petronio*“, <http://www.barefordimagery.org/>
- [7] J. Kepler: „Astronomia Nova“, 1609, „New Astronomy“, prevod J. H. Donahue, Cambridge U.P., Cambridge, 1992.
- [8] T. P. Fun: „Bisection Of The Eccentricity“, National University of Singapore, Singapore, 2004.
- [9] N. Y. Leng: „A Mathematical Supplement to “The Sun in the Church: Cathedrals as Solar Observatories”, by J.L. Heilbron”, National University of Singapore: Department of Mathematics, 2001.
- [10] T. Marković-Topalović and M. Božić, „Serbia hosts teachers’ seminar”, *Physics Education*, **46**, 365- 2011.
- [11] M. Božić, M. Popović and I. Savić, „Out Classroom Installations for Learning Physics: Learning Environment”, *Proc. of BPU7, AIP CP1203*, 1250-1255, 2009.
- [12] <http://www.designshop.co.il/>