

Naslov članka/Article:

POUČEVANJE FIZIKE S SIMULACIJAMI: PRIMER POUČEVANJA OHRANITVE MEHANSKE ENERGIJE

*Teaching Physics through Simulations: An Example of Teaching the
Conservation of Mechanical Energy*

Avtor/Author:

mag. Daniel Doz, Eleonora Doz

CC licenca



Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Brez predelav



Fizika v šoli št. 2/2019, letnik 24

ISSN 1318-6388

Izdal in založil: Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Kraj in leto izdaje: Ljubljana, 2019

Spletna stran revije:

<https://www.zrss.si/strokovne-revije/fizika-v-soli/>

Poučevanje fizike s simulacijami: primer poučevanja ohranitve mehanske energije

mag. Daniel Doz

Državni Znanstveni Licej Franceta Prešerna s slovenskim učnim jezikom
Trst, Italija

Eleonora Doz

Corso di Laurea Magistrale in Psicologia Sociale e dello Sviluppo
Dipartimento di Scienze della Vita
Università degli Studi di Trieste
Trst, Italija

Izvleček

V nekaterih italijanskih višjih srednjih šolah primanjkuje laboratorijev za pouk fizike, zato je poučevanje te vede z eksperimenti oteženo. Zato lahko učitelji fizike uporabljajo simulacije laboratorijskih eksperimentov, ki jih ponujajo različne spletne strani; v prispevku se bova avtorja osredotočila na simulacije PhET. Nekateri raziskave [7, 9, 10] so pokazale, da so simulacije dober pripomoček za poučevanje fizike, obenem pa učencem pomagajo, da sami pridejo do zaključkov in razumejo fizikalne zakone. V prispevku avtorja predstaviva pozitivne plati uporabe simulacij pri pouku fizike in podava primer poučevanja zakona o ohranitvi mehanske energije s spletnimi simulacijami.

Ključne besede: laboratorij; simulacije; računalnik; energija

Teaching Physics through Simulations: An Example of Teaching the Conservation of Mechanical Energy

Abstract

Some Italian upper secondary schools suffer from a shortage of laboratories for Physics lessons, making it difficult to teach this science through experiments. For this purpose, Physics teachers make use of simulations of laboratory experiments offered by various websites; in the article, the authors will focus on PhET simulations. Some research studies [7, 9, 10] have shown that simulations are a good tool for teaching Physics and that they help students to reach their own conclusions and understand the laws of physics. In the article, the authors present the positive aspects of using simulations in Physics lessons and give an example of teaching the law of conservation of mechanical energy through online simulations.

Keywords: laboratory; simulations; computer; energy

Uvod

Italijansko ministrstvo za izobraževanje, univerzo in raziskovanje (MIUR) je v dokumentu [1] izrazilo, da je laboratorijsko delo ključni element pouka fizike. To naj bi po mnenju ministrstva učencem pomagalo razumeti, s čim se fizika sploh ukvarja in katere eksperimentalne metode uporabljamo v fiziki [2]. V dokumentu [2]

MIUR trdi, da bi moralo biti eksperimentalno delo stalno prisotno v prvih dveh letnikih znanstvenega liceja, pri tem pa naj bi se učenci naučili pisanja laboratorijskih poročil in kritičnega predstavljanja rezultatov posameznih opravljenih eksperimentov.

Mnoge raziskave, kot sta [3] in [4], so pokazale, da eksperimentalno delo sicer ne more biti edini element pou-

ka fizike [3], a je pomembno za razumevanje fizikalnih pojavov in odličen pripomoček, da učitelj doseže zastavljene učne cilje.

Eksperimentalno delo naj bi učencem pomagalo, da razmislijo o različnih naravnih pojavih, si sami postavljajo vprašanja o delovanju narave ter sami odkrijejo metode in strategije za reševanje realnih problemov [4]. Poleg tega lahko eksperimentalno delo učencem pomaga razviti veščine opazovanja [3]. Prav tako so raziskave pokazale, da eksperimentalno delo motivira učence za učenje fizike [5].

Nekateri avtorji so poleg tradicionalnega eksperimentalnega dela preučili možnost uporabe digitalne tehnologije pri poučevanju fizike [6]. Pri tem naj omenimo uporabo virtualnih laboratorijev in simulacij fizikalnih eksperimentov na računalniku [7, 8]. Raziskave [7, 9, 10] so pokazale, da so lahko računalniške simulacije fizikalnih eksperimentov dopolnilni pripomoček, ki izboljša predstave fizikalnih zakonov in realnih situacij pri učencih.

Poleg tega so lahko simulacije znanstvenih eksperimentov zanimive za učence tistih šol, v katerih primanjkuje tehničnih, fizikalnih ali znanstvenih laboratorijev oziroma laboratorijske opreme [11].

Glede na dejstvo, da so nekatere šole v Italiji brez laboratorijev oziroma so tovrstne učilnice popolnoma neprimerne, pokvarjene in brez pomožnega tehničnega osebja, ki bi jih upravljalo [12–15], je simulacija fizikalnih eksperimentov čedalje nujnejša, da učencem omogočimo razumevanje pojavov, ki bi jih sicer bilo odlično pokazati pri eksperimentalnem delu.

Avtorja v prispevku predstavlja možnost uporabe nekaterih simulacij fizikalnih eksperimentov v razredu kot nadomestek laboratorijskih vaj. Simulacije so tudi dober pripomoček za podporo eksperimentalnega dela, ki ga lahko učenci opravijo v šolskem laboratoriju. Koristne so tudi za ponovitev vsebine, če so učenci odsotni oziroma bi želeli samostojno ponoviti fizikalne principe, ki so jih obravnavali pri pouku.

Poleg konkretnih primerov uporabe nekaterih simulacij, ki so prosto dostopne na [16], avtorja predstaviva didaktični razmislek o uporabi takih simulacij fizikalnih eksperimentov v italijanskih šolah s slovenskim učnim jezikom.

Poučevanje fizike s simulacijami PhET

Ker sta računalnik in povezava s spletom dostopna večini učencem in šol, so postale simulacije znanstvenih eksperimentov del učnega programa v mnogih državah [17]. Spletna stran, ki je večkrat citirana na spletu, je [16]. PhET (*Physics Education Technology*) je spletna stran, ki jo upravlja Univerza v Koloradu Boulder in je namenjena učenju znanstvenih predmetov s pomočjo interaktivnih simulacij.

Na spletni strani [16] je mogoče najti simulacije z naslednjih področij: HTML5, fizika, biologija, kemija, vede o Zemlji in matematika.

V delu [18] avtorji trdijo, da lahko s pomočjo simulacij fizikalnih eksperimentov učenci sami odkrivajo fizikalne lastnosti in zakone, zato do novega znanja pridejo po metodi problemskega dela. Simulacije so namreč interaktivne in spominjajo na igro. V delu [18] so avtorji pokazali, da lahko simulacije na spletni strani PhET učencem pomagajo bolje razumeti določene abstraktne vsebine, kot je na primer kvantna mehanika. Avtorji so prepričani, da simulacije eksperimenta pripomorejo k učinkovitejšemu učenju fizike, razvijajo učenčev uvid in mu pomagajo pri predstavljanju nekaterih fizikalnih situacij.

V delu [19] so avtorji pokazali, da uporaba spletnih simulacij PhET pripomore k temu, da si uporabniki samostojno postavljajo vprašanja o fizikalnih situacijah in sami iščejo odgovore. Avtorji so prepričani, da bi moral učitelj dovoliti, da učenci sami raziskujejo in eksperimentirajo s pomočjo spletnih simulacij ter da ne bi smel voditi procesa odkrivanja, temveč bi moral pustiti, da učenci simulacije preizkušajo samostojno. Postavljanje točno določenih vprašanj bi lahko uničilo samostojno odkrivanje fizikalnih resnic. Nekateri učenci se namreč ustavljajo pri določenih podrobnostih, ki jih učitelji ne vidijo oziroma jih imajo za nepomembne.

Podobne ugotovitve izrazijo tudi avtorji raziskav [20] in [21]. V teh delih avtorji poudarijo, da se učenci pri znanstvenih predmetih še največ naučijo, če so sami vpleteni v proces odkrivanja zakonitosti; pri tem sami povezujejo odkrite resnice z že poznanimi koncepti. V ta namen lahko pomagajo tudi simulacije znanstvenih eksperimentov, ki po mnenju avtorjev povečajo motivacijo učencev za učenje fizike ter razvijajo njihovo celovito razumevanje fizikalnih pojavov. Tudi ti avtorji so prepričani, da morajo učitelji pustiti, da učenci pridejo do zaključkov s samostojnim eksperimentiranjem s simulacijo. Avtorji pa poudarjajo, da je treba pri uporabi spletnih simulacij upoštevati načelo sistematičnosti in postopnosti: učitelj naj najprej predlaga lažje simulacije, nakar lahko učenci preidejo na težje. Začeti pri težjih simulacijah bi se lahko izkazalo za neproduktivno, saj bi se učenci kmalu dolgočasili in izgubili motivacijo. Podobne ugotovitve izražajo tudi avtorji v [22].

Iz teh raziskav je torej razvidno, da so simulacije na spletni strani PhET koristne kot dodatni didaktični pripomoček pri odkrivanju fizikalnih zakonov in pri samostojnem eksperimentiranju. Učiteljem, ki bi hoteli uporabljati te simulacije pri pouku, svetujemo, naj sledijo nasvetom zgoraj navedenih raziskav in naj torej pustijo nekaj več svobode učencem, ki hočejo samostojno raziskovati, ter naj upoštevajo načeli postopnosti in prilagodljivosti. Pri tem naj se učitelji ravnajo tudi po načelu sistematičnosti: nove vsebine naj uvajajo v skladu s ho-

listično sliko pouka fizike na svoji šoli in v svoji državi. Seveda pa simulacija fizikalnega eksperimenta ne sme biti sama sebi namen: vsebine, ki jih lahko odkrijemo s pomočjo simulacij na spletni strani, je treba nato smiselno obdelati v razredu, da lahko učenci ustvarijo povezave med konkretno izkušnjo in teoretično podlago.

Na spletni strani [23] avtorji strani PhET pišejo, da so simulacije laboratorijskega dela pripravili tudi zato, da bi učencem s posebnimi potrebami omogočili pravo znanstveno izkušnjo. Avtorji spletnih simulacij trdijo, da so pri programiranju in sestavljanju simulacij upoštevali metode inkluzivne pedagogike. Te slonijo na uporabi multisenzorike in vključujejo uporabo verbalnih opisov ter povratnih informacij, glasbenih in zvočnih informacij, klikov, premikanja ipd. Učenci s posebnimi potrebami se lahko torej učijo fiziko in eksperimentirajo v sproščenem in varnem okolju, ki ne zahteva pretirane fizične aktivnosti (premikanje po laboratoriju, premikanje iz učilnice v laboratorij, uporaba težkih laboratorijskih pripomočkov, merjenje z elektronskimi urami ipd.) [23].

Primer uporabe simulacij PhET: mehanska energija

V fiziki je poučevanje energije in njene ohranitve eno od pomembnejših področij [24]. Avtor v [24] trdi, da se ohranitev mehanske energije, to je vsote potencialne in kinetične energije telesa, navadno obravnava pri štirih primerih:

- telesa v prostem padu;
- enostavna nitna nihala;
- kotaljenje teles po klancu navzdol;
- mase, pritrjene na vzmet.

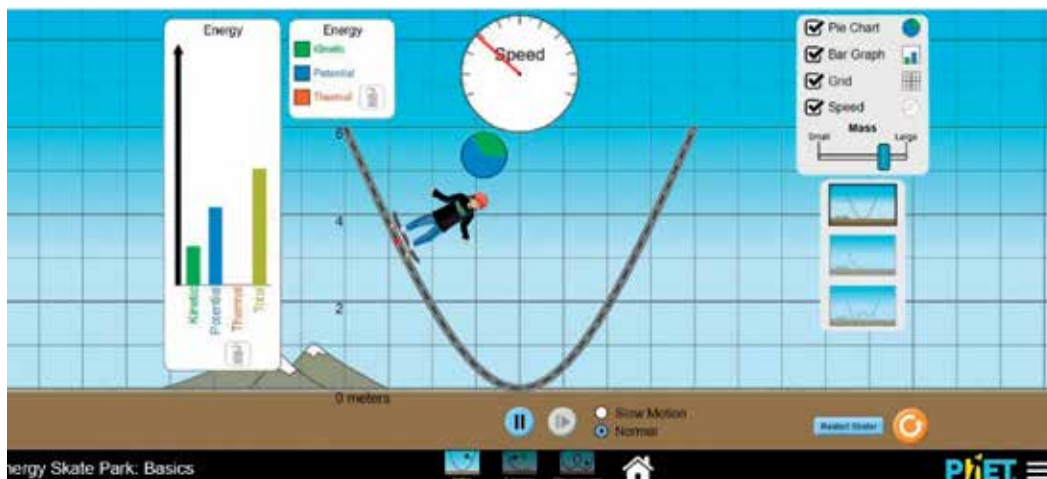
V teh primerih navadno predpostavljamo, da se mehanska energija ohranja; računamo pa hitrost, lego in energijo teles. Pri poučevanju teh osnovnih lastnosti navadno primanjkuje eksperimentalnega merjenja, ki bi ohranitev energije prikazalo s konkretnimi podatki in meritvami. Avtor v [24] predlaga, da bi pri dokazovanju

ohranitve mehanske energije uporabljali video posnetke, ob katerih bi učenci lahko boljše razumeli koncept ohranitve te energije oziroma njegovo neveljavnost v primeru prisotnosti sile trenja.

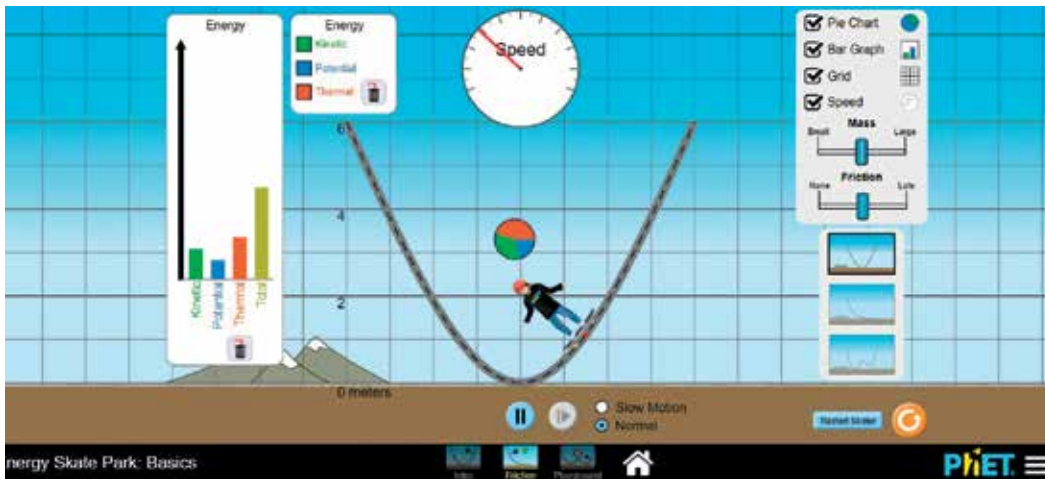
Metoda, ki jo opisuje [24], je danes še toliko učinkovitejša in uporabnejša, saj lahko učenci s svojimi pametnimi telefoni snemajo eksperiment ter ga doma s pomočjo računalnika ali posebnih programov podrobno analizirajo. To pa pomeni, da mora šola obvezno imeti laboratorij za pouk fizike, sicer so nekateri eksperimenti neizvedljivi.

Mehansko energijo dijaki italijanskih znanstvenih licejev (tj. gimnazij) obravnavajo že v prvih dveh letnikih višješolskega študija [2], na preostalih licejih pa v zadnjih treh letnikih [1]. Ker so, kot že rečeno, eksperimenti v zvezi z ohranitvijo mehanske energije težko izvedljivi [24], bi lahko zakon o ohranitvi mehanske energije predstavili s pomočjo spletnih simulacij, ki so prosto dostopne na [25]. V tej simulaciji se uporabnik sreča s tremi primeri: uvodnim primerom (brez trenja), primerom s trenjem in primerom, ko si uporabnik sam zgradi pot in uravnava trenje na njej.

V prvem delu simulacije si lahko uporabnik izbere obliko poti brez trenja. S pomočjo drsnikov lahko spremeni maso fanta na rolki. Učenec lahko nato izbere, ali naj se mu prikaže mreža, merilec hitrosti, histogram vrednosti različnih energij (kinetične, potencialne, termične in skupne energije) ali tortni diagram energij. Z miško lahko uporabnik namesti fanta na rolki na določeno višino. Ko sprosti gumb na miški, se začne figura premikati po izbrani poti. Če si uporabnik izbere parabolično pot, lahko na histogramu opazuje, kako se vrednost kinetične energije večja, ko se fant bliža temenu parabole, potencialna energija pa vpada. Skupna energija je vedno konstantna v času, kar dokazuje, da se v odsotnosti zunanjih sil mehanska energija ohranja. Termična energija je vedno enaka 0, saj je pot gladka in brez trenja. Z merilcem hitrosti se lahko uporabnik prepriča, da ima fant najvišjo hitrost prav v temenu parabole, ničelno hitrost pa v najvišji doseženi legi. Z uporabo mreže se lahko upo-



Slika 1: Rolkar na parabolični poti brez trenja.



Slika 2: Rolkar na cesti s trenjem.

rabnik tudi prepriča, da v odsotnosti sile trenja fant na rolki doseže vedno isto višino na levem in desnem kraku parabolične poti.

V drugem delu simulacije lahko uporabnik ponovi prejšnjo izkušnjo, tokrat pa lahko z drsnikom določi tudi koeficient trenja poti. S tem se lahko učenci prepričajo, da se del energije spremeni v termično energijo, ki se sčasoma večja, medtem ko se kinetična in potencialna energija sprotno manjšata. Skupna energija ostaja tudi v tem primeru konstantna. Uporabnik lahko opazi, da se hitrost sprotno manjša, pri čemer rolkarju ne uspe doseči iste višine, s katere se je spustil na začetku.

Če bi bila površina, po kateri se rolkar premika, popolnoma gladka in brez trenja, bi imel kinetično energijo, ki je enaka polovičnemu produktu med maso rolkarja in kvadratom hitrosti. Sila trenja pa opravlja negativno delo, saj se upira gibanju. Izrek o kinetični energiji trdi, da je delo, ki ga opravljajo zunanje sile, enako razliki v energijah. Ker je torej delo zunanjih sil (sile trenja) negativno, je negativna tudi razlika v kinetičnih energijah. To pomeni, da se hitrost postopoma manjša. Do teh zaključkov lahko uporabnik pride le, če ga učitelj postopno vodi v učnem procesu, saj bi bilo iz simulacije same nemogoče razumeti, zakaj se hitrost postopno manjša.

V tretjem delu simulacije si lahko uporabnik sam zgradi pot in opazuje gibanje rolkarja v prisotnosti oziroma odsotnosti sile trenja. Z drsniki lahko spreminja koeficient trenja in maso rolkarja ter v živo spremlja spremembe gibanja.

Simulacija [25] je zelo realistična in dobro opisuje realno situacijo s trenjem in brez njega. Je dober didaktični pripomoček, saj nazorno predstavi situacijo prehajanja energij. S pomočjo drsnikov lahko uporabniki spreminjajo različne parametre in v hipu opazijo razlike v fizikalni situaciji. To pomaga učencem razviti uvid pri nekaterih fizikalnih pojavih. Še najkoristnejša je razlika med prvim in drugim delom simulacije. Pri tem lahko učenci raziskujejo vpliv sile trenja na gibanje rolkarja. Učenci lahko razumejo, da sila trenja upočasni gibanje, s čimer

se zmanjša kinetična energija rolkarja in posledično tudi mehanska energija. Pri tem pa je zelo pomembno, da učitelj predhodno uvede pojma potencialne in kinetične energije, sicer učenci, ki uporabljajo izključno simulacijo, ne razumejo, kaj sploh simulirajo. Histogrami nazorno prikažejo, kako se večajo in manjšajo potencialna, kinetična, termična ter skupna energija. S pomočjo histograma lahko učenci razumejo, da je v prvi simulaciji vsota potencialne in kinetične energije konstantna v času: to pripomore k temu, da učenci razumejo, da se mehanska energija, v odsotnosti zunanjih sil, ohrani. Histogrami in tortni diagrami pomagajo učencem razumeti, da se z večanjem potencialne energije manjša kinetična energija in obratno. Pri tem je zelo koristna tudi uporaba merilca hitrosti, s katerim je mogoče zaznati, v katerih točkah je hitrost največja oziroma ničelna. Didaktična vrednost simulacije je torej zelo velika: ta dovoli, da si učenci ogledajo določene eksperimente, ki si jih sicer ne bi mogli ogledati v šolskem laboratoriju. Uporabnik lahko spremlja spreminjanje vrednosti fizikalnih količin: takšno spremljanje bi bilo v laboratoriju nemogoče, saj bi bilo za to potrebnih več enakih poti iz različnih materialov in različne mase, ki se premikajo. Situacije brez trenja ne bi mogli ustvariti v šolskem laboratoriju, saj je pri pripomočkih vedno prisotno trenje, pa čeprav v minimalni meri. Tako učenci ne bi mogli videti, da sta doseženi višini na levem in desnem kraku parabole enaki. Poleg tega bi bilo zelo težko meriti hitrost telesa pri realnem eksperimentu [24].

Simulacija [25] je torej dober način virtualnega eksperimentiranja in razumevanja določenih fizikalnih zakonov, ki bi jih z realnim eksperimentom težko izvedli, še posebej v slabo opremljenih italijanskih višjih srednjih šolah.

Zaključki

V italijanskem višješolskem sistemu so eksperimenti neloobhodni del pouka fizike. Z eksperimenti lahko učenci razumejo znanstveno metodologijo in utrdijo teoretično

znanje, ki ga dobijo v razredu. Slabo opremljene šole in pomanjkanje pomožnega tehničnega osebja pa onemogočajo, da bi bili vsi učenci v Italiji deležni eksperimentalnega dela v laboratoriju.

Zato bi bilo smiselno pokazati učencem različne spletne simulacije laboratorijskih vaj. Nekatere raziskave so namreč pokazale, da so spletne simulacije odlični didaktični pripomoček, ki obogati pouk fizike v razredu. V prispevku sva predstavila primer uporabe prosto dostopnih simulacij pri poučevanju pojma mehanske energije in njene ohranitve. Eksperimenti iz kinetične in potencialne energije so izredno težko izvedljivi, zato lahko učitelji in učenci uporabljajo alternativne metode, med katere spadajo tudi predstavljene simulacije. V prispevku sva predstavila pozitivne plati uporabe ene izmed simulacij,

ki so prosto dostopne na [16]; pokazala sva, koliko lahko učitelji uporabljajo te pripomočke pri pouku. Poudarila sva, da je pomembno, da učitelj delno vodi proces učenja novih vsebin in da smiselno uvede vse teoretične pojme, ki jih učenci potrebujejo pri razumevanju simulacije. Simulacija je torej zelo dober pripomoček za podporo eksperimenta, ki ga lahko izvedemo skupaj v laboratoriju, ali pa za ponovitev vsebine, če so učenci odsotni oziroma bi želeli samostojno ponoviti fizikalne principe, obravnavane pri pouku.

Simulacije fizikalnih eksperimentov so dober pripomoček tudi z vidika inkluzivne pedagogike, saj gibalno oviranim učencem in učencem s posebnimi potrebami omogočajo vključitev v laboratorijske vaje v prijetnem in varnem okolju.

Uporabljeni viri

- [1] <http://www.gazzettaufficiale.it/gunewsletter/dettaglio.jsp?service=1&datagu=2010-12-14&task=dettaglio&numgu=291&redaz=010G0232&tmstp=1292405356450> (28. 12. 2018)
- [2] http://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaArticolo?art.progressivo=1&art.idArticolo=1&art.versione=1&art.codiceRedazionale=010G0232&art.dataPubblicazioneGazzetta=2010-12-14&art.idGruppo=0&art.idSottoArticolo1=10&art.idSottoArticolo=1&art.flagTipoArticolo=6#art (28. 12. 2018)
- [3] A. Hofstein, V. N. Lunetta, *The role of the laboratory in science teaching: Neglected aspects of research*, *Review of educational research* **52**, 2, (1982), 201–217.
- [4] R. Trumper, *The physics laboratory—a historical overview and future perspectives*, *Science & Education* **12**, 7, (2003), 645–670.
- [5] A. Hofstein, V. N. Lunetta, *The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century*, *Science education* **88**, 1, (2004), 28–54.
- [6] F. Esquembre, *Computers in physics education*, *Computer physics communications* **147**, 1–2, (2002), 13–18.
- [7] N. D. Finkelstein, W. K. Adams, C. J. Keller, P. B. Kohl, K. K. Perkins, N. S. Podolefsky, S. Reid, R. Lemaster, *When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment*, *Physical Review Special Topics-Physics Education Research* **1**, 1, (2005), 010103.
- [8] R. B. Loftin, M. Engleberg, R. Benedetti, *Applying virtual reality in education: A prototypical virtual physics laboratory*. V: *Proceedings of 1993 IEEE Research Properties in Virtual Reality Symposium*, (1993), 67–74.
- [9] A. Jimoyiannis, V. Komis, *Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion*, *Computers & Education* **36**, 2, (2001), 183–204.
- [10] K. Achuthan, K. S. Sreelatha, S. Surendran, S. Diwakar, P. Nedungadi et al., *The VALUE@ Amrita Virtual Labs Project: Using web technology to provide virtual laboratory access to students*, V: *2011 IEEE Global Humanitarian Technology Conference*, (2011), 117–121.
- [11] C. Tüysüz, *The Effect of the Virtual Laboratory on Students' Achievement and Attitude in Chemistry*, *International Online Journal of Educational Sciences* **2**, 1, (2010), 37–53.
- [12] <https://www.abruzzoilive.it/scuole-senza-laboratori-e-personale-al-via-la-protesta-degli-studenti-di-teramo-di-sabatino-gia-pronti-7-mln/> (28. 12. 2018)
- [13] <https://www.skuela.net/scuola/scuole-senza-laboratori-progetto-esperimenti-online.html> (28. 12. 2018)

- [14] <https://www.orizzontescuola.it/fratoianni-leu-scuole-senza-carta-igienica-e-laboratori-stipendi-bloccati-ma-per-bussetti-non-ce-bisogno-di-fondi/> (28. 12. 2018)
- [15] https://www.ilsole24ore.com/art/notizie/2017-10-09/scuola-fatiscente-aula-3-2013-oltre-150-crolli--101652.shtml?uuid=AE6zYhC&refresh_ce=1 (28. 12. 2018)
- [16] <https://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics> (28. 12. 2018)
- [17] N. Rutten, W. R. van Joolingen, J. T. van der Veen, *The learning effects of computer simulations in science education*, *Computers & Education* **58**, 1, (2012), 136–153.
- [18] S. B. McKagan, K. K. Perkins, M. Dubson, C. Malley, S. Reid, R. Lemaster, C. E. Wieman, *Developing and researching PhET simulations for teaching quantum mechanics*, *American Journal of Physics* **76**, 4, (2008), 406–417.
- [19] W. K. Adams, A. Paulson, C. E. Wieman, *What levels of guidance promote engaged exploration with interactive simulations?*, V: AIP conference proceedings **1064**, 1, (2008), 59–62.
- [20] C. E. Wieman, W. K. Adams, P. Loeblein, K. K. Perkins, *Teaching physics using PhET simulations*, *The Physics Teacher* **48**, 4, (2010), 225–227.
- [21] C. E. Wieman, W. K. Adams, K. K. Perkins, *PhET: Simulations that enhance learning*, *Science* **322**, 5902, (2008), 682–683.
- [22] K. Perkins, W. Adams, M. Dubson, N. Finkelstein, S. Reid, C. Wieman, R. LeMaster, *PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics*, *The Physics Teacher* **44**, 1, (2006), 18–23.
- [23] <https://phet.colorado.edu/en/accessibility> (28. 12. 2018)
- [24] J. A. Bryan, *Investigating the conservation of mechanical energy using video analysis: four cases*, *Physics Education* **45**, 1, (2010), 50–57.
- [25] <https://phet.colorado.edu/en/simulation/energy-skate-park-basics> (29. 12. 2018)

Iz digitalne bralnice ZRSS

www.zrss.si/strokovne-resitve/digitalna-bralnica

V digitalni bralnici lahko dve leti po izidu prelistate **strokovne revije**, ki so izšle pri Zavodu RS za šolstvo in so vam BREZPLAČNO dosegljive tudi v PDF obliki. Prijetno strokovno branje vam želimo.

