

Računalo kao mjerni uređaj

Ivica Aviani

*Institut za fiziku, Zagreb
Prirodoslovno, matematički fakultet, Split*

Apstrakt. Osobno računalo kao mjerni uređaj ne zahtijeva gotovo nikakvu dodatnu opremu. Opremljeno zvučnom karticom, mikrofonskim ulazom i izlazom te mikrofonom, zvučnicima i web kamerom, uz pomoć besplatnog softvera, pretvara se u uređaj za analizu gibanja, signal generator, brzi i precizni voltmetar ili osciloskop. Njime je moguće precizno mjeriti i opažati pojave koje se odvijaju na vremenskim skalama reda veličine desetinke milisekunde. Kao mjerni uređaj osobno računalo ima veliki potencijal u interaktivnoj, istraživački orijentiranoj i projektnoj nastavi. U radu je opisano nekoliko takvih primjera.

Ključne riječi: osobno računalo, mjerni uređaj, interaktivna nastava, eksperiment.

UVOD

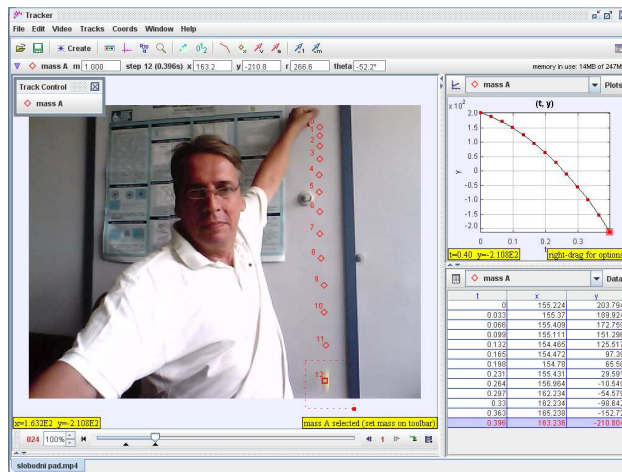
Osobna računala pristupačna su danas gotovo svakom nastavniku i učeniku te nalaze primjenu u raznim oblicima nastave. Ipak, rijetko se u računalu prepoznaje precizan mjerni uređaj pomoću kojeg je nastavu fizike moguće osvježiti i unaprijediti te je učiniti zanimljivijom učenicima, kojima je računalo postalo dio svakodnevnice. S obzirom da ne zahtijeva gotovo nikakvu dodatnu opremu, računalo kao mjerni uređaj ima veliki potencijal za projektnu i istraživačku interaktivnu nastavu u svim školama. Opremljeno je zvučnom karticom te mikrofonskim ulazom i izlazom za zvučnike, a prijenosna računala imaju integrirani mikrofon i web kameru. Uz pomoć besplatnog softvera koji upravlja zvučnom karticom, računalo se pretvara u uređaj za analizu gibanja [1] i zvuka [2], signal generator [3], brzi i precizni voltmetar ili osciloskop [3]. Zbog toga je moguće precizno mjeriti i opažati pojave, inače nedostupne ljudskim osjetilima, koje se odvijaju u kratkim vremenskim intervalima [4]. Izlaz za zvučnike može poslužiti kao generator izmjeničnog napona željenog oblika i frekvencije, a mikrofonski ulaz kao osjetljivi voltmetar [5]. Na mikrofonski ulaz moguće je priključiti zavojnicu, te promatrati pojavu elektromagnetske indukcije ili fotodiodu te promatrati promjene intenziteta svjetlosti. Besplatni softver za analizu video zapisa [1] omogućuje analizu i modeliranje gibanja. Na taj način moguće je objektivno promatranje i analiziranje prirodnih pojava. Nastava u učionici može se izvoditi korištenjem projektoru pri čemu računalo postaje interaktivni multimedijalni mjerni uređaj. Ovaj rad daje kratak pregled nekoliko ideja za istraživanje i mjerenje pomoću osobnog računala iz literature [6-10] i nešto vlastitih ideja nastalih korištenjem besplatnog softvera u nastavi. Ove i druge primjere detaljno sam oblikovao zajedno sa svojim studentima za vrijeme vođenja kolegija *Računalo u pokusu* na Fizičkom odsjeku PMF-a, Sveučilišta u Zagrebu te kroz diplomske radove [11,12].

PRIMJERI EKSPERIMENATA

Analiza gibanja pomoću programa Tracker

Opis gibanja tijela spada u temeljna znanja fizike. Zbog složenosti povezivanja gibanja s fizikalnim konceptima, matematičkim izrazima i grafičkim prikazima, uz savladavanje vještina mjerenja, ovaj se ishod učenja smatra izuzetno zahtjevnim [13]. Većini nastavnika dobro je poznata analiza gibanja pomoću elektromagnetskog tipkala (eng. *ticker timer*) [14]. Ova metoda proučavanja održala se u našem obrazovnome sustavu kao temeljna metoda sve do danas. Međutim, zahvaljujući razvoju informacijske tehnologije otvaraju se nove mogućnosti. Razvijena su mnoga učila te brojni komercijalni i besplatni programi za video analizu. Među njima se ističe besplatni program Tracker [1], autora Douglas Browna, umirovljenog profesora fizike, koji aktivno sudjeluje u unapređivanju nastave. Po svemu sudeći, suvremeni računalni programi za video analizu gibanja mogli bi znatno olakšati proces učenja.

Mogućí način poučavanja pomoću Trackera prikazat ćemo na jednostavnom primjeru. Više primjera i detaljne upute za rad s programom mogu se naći u diplomskim radovima [11,12]. Pomoću web kamere ili mobitela snimit ćemo tijelo koje slobodno pada, a zatim koristeći program za analizu video zapisa istraživati gibanje tijela u skladu s konceptima nastave fizike za srednju školu. Da bi ovu zadaću obavili odabrat ćemo dio filma koji nas zanima i na početnoj snimci napraviti niz važnih radnji. To su odabir koordinatnog sustava i ishodišta te baždarenje jedinične dužine. Na taj način svaka točka na snimci dobiva svoje prostorne koordinate, a udaljenosti između točaka mjere u metrima. Opisani postupak zorno upućuje učenika u vještinu mjerenja udaljenosti te stvara okvir za matematički opis položaja tijela u prostoru, odnosno grafički prikaz.



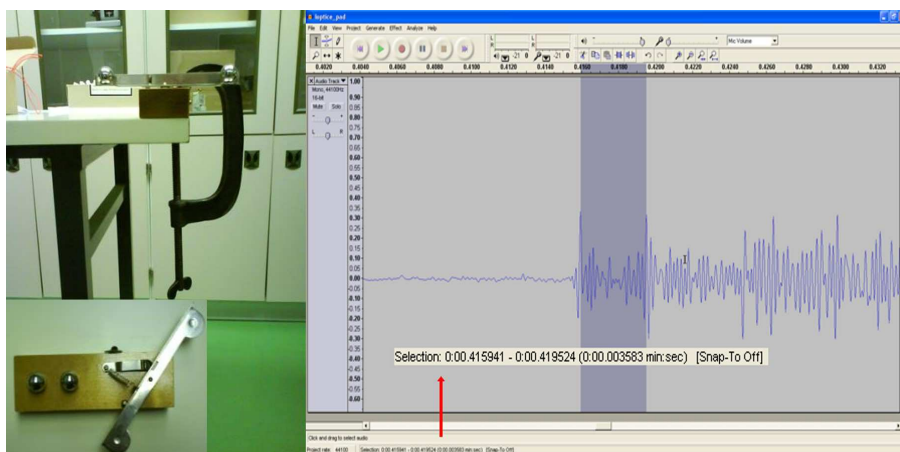
SLIKA 1. Za analizu slobodnog pada i mjerenje ubrzanja dovoljno je, pomoću web kamere ili mobitela, snimiti predmet koji pada te snimku prebaciti u program za analizu gibanja Tracker.

Snimljeni film zapravo je niz fotografija koje se brzo izmjenjuju dajući osjećaj neprekidnog gibanja. Program omogućuje promatranje i analizu snimljenih fotografija pojedinačno. Kamera snima točno određeni broj snimaka u sekundi (najčešće 30) pri

čemu je vremenski razmak između pojedinih snimki uvijek jednak. Jednakost vremenskih razmaka, odnosno opažanja, važan je fizički koncept, koji nam omogućuje mjerenje promjene položaja tijela u vremenu. Pritom je početak, odnosno ishodište vremenske skale, određen odabirom početne snimke, a proteklo vrijeme jednako zbroju vremenskih razmaka između snimki. Usvajajući te koncepte učenik na praktičan način uči kako se definira vremenska skala te kako se mjeri vremenski interval i vrijeme. Slika 1 prikazuje analizu gibanja tijela u slobodnome padu. Na ekranu računala istodobno se nalaze snimka predmeta koji pada, tablica s prostorno-vremenskim koordinatama tijela i $s-t$ graf gibanja. Kada se pokrene, program povezuje položaj predmeta na snimci s položajem točke na grafu, čime se učeniku omogućuje zorno povezivanje realnog gibanja i grafa, što se teško postiže u nastavi [13]. Jednostavnim promjenama, odmah je vidljivo kako grafički prikaz gibanja ovisi o izboru koordinatnog sustava i ostalim parametrima. Iz izmjerenih podataka odmah određujemo ubrzanje slobodnog pada. Program omogućuje i izradu jednostavnog fizičkog modela gibanja, temeljenog na formuli, koji se prikazuje simultano, kao animacija, preko video zapisa. Odabirom odgovarajućega modela dobiva se preklapanje animacije i stvarnog gibanja, što je jedan od glavnih zadataka fizike.

Analiza gibanja pomoću programa Audacity

Audacity [2] je besplatni program koji prvenstveno služi za snimanje i editiranje zvuka, ali može izvrsno poslužiti za vremensku analizu raznih događaja koji se zbivaju u vrlo kratkim vremenskim razmacima. Program zapravo digitalizira napon na ulazu zvučne kartice i grafički ga prikazuje kao funkciju vremena. U slučaju da je na ulaz priključen mikروفon to je vremenska promjena inteziteta zvuka, ali vidjet ćemo da to može biti bilo koji izvor napona, s tim da ne smije biti znatno veći od 5 mV. S obzirom da kartica radi frekvencijom od 44 kHz, najmanji vremenski interval koji program može razlikovati je oko 22 μ s.

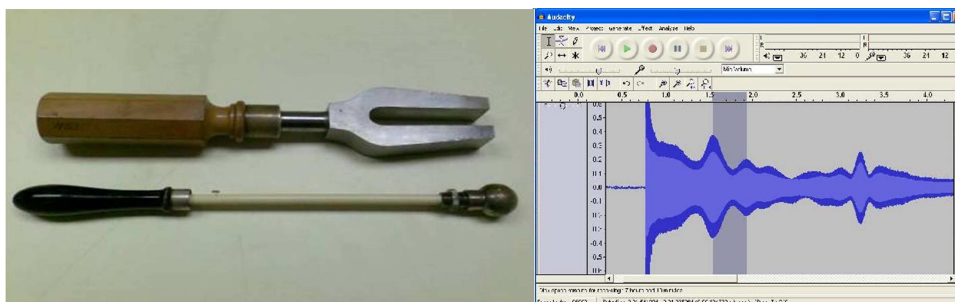


SLIKA 2. Uređaj za izbacivanje kuglica različitim horizontalnim brzinama postavimo na rub stola i pričvrstimo ga stegom (lijevo). Zvučni zapis pada dviju kuglica i mjerenje vremenskog razmaka između njihovog pada pomoću programa Audacity (desno).

Iskoristit ćemo ovaj program kao precizan sat da istražimo je li istina kako kuglica koja slobodno pada i ona koja je bačena s iste visine u horizontalnom smjeru, padaju jednako dugo vremena. Za tu svrhu koristimo uređaj za izbacivanje kuglica, koji nakon pokretanja, jednu kuglicu ispusti tako da ona pada bez početne brzine, a drugu istodobno izbaci nekom horizontalnom brzinom. Pitanje je: Padnu li kuglice istodobno i s kojom sigurnošću to možemo utvrditi? Eksperimentalni postav i uređaj te zvučni zapis događaja prikazani su na Slici 2. Zvučni zapis pokazuje da su kuglice pale gotovo istodobno. Zapravo, jedna kuglica kasnila je za drugom za samo $\Delta t = 0.00358$ s. Ta mala vremenska razlika može nastati i zbog nesavršenosti uređaja, odnosno zbog neistodobnog izbačaja kuglica, ali i zbog toga što je kuglica s horizontalnom brzinom pala dalje pa je i zvuk njenog udarca o pod nešto kasnije stigao do mikrofona. Lako izračunamo da za vrijeme Δt zvuk, čija je brzina oko 330 m/s, pređe put od oko 1,2 m. Ta vrijednost dobro se slaže s dometom druge kuglice.

Mjerenje brzine gibanja pomoću Dopplerovog efekta

Glazbenu vilicu (Slika 3) batićem pobudimo na titranje tako da jasno čujemo ton. Kada vilicu primičemo zidu, čujemo periodičnu promjenu intenziteta zvuka, odnosno zvučne udare. Zašto?



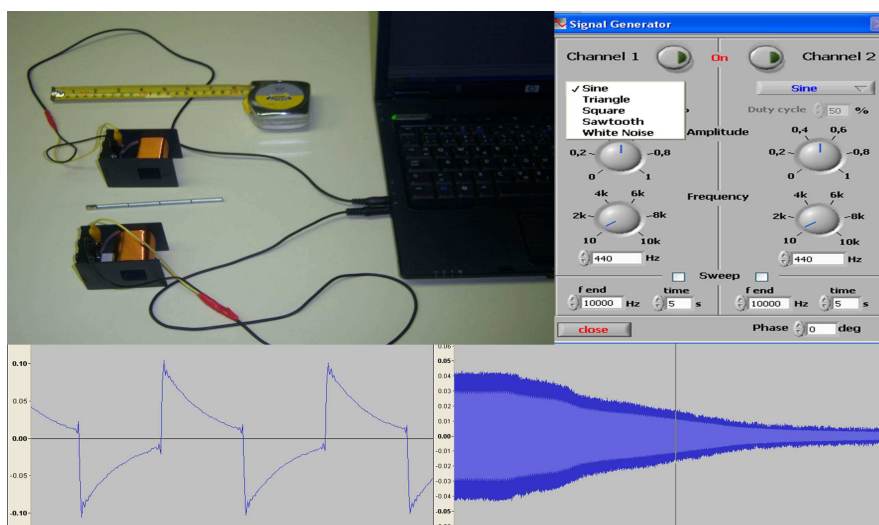
SLIKA 3. Glazbena vilica i batić za demonstraciju Dopplerovog efekta (lijevo). Zvučni zapis glazbene vilice u gibanju (desno). Označena je udaljenost između dva susjedna maksimuma iz koje smo odredili vremenski interval između dva zvučna udara.

Zvučni valovi glazbene vilice (izvora) odbijaju se od zida i interferiraju sa zvukom izvora. Zbog odbijanja valova, iza zida nastaje prividna zvučna slika vilice, poput slike u zrcalu – kao da se dvije vilice, ona stvarna, u našoj ruci, i njena slika gibaju jedna prema drugoj. Neka se vilica giba od nas, a njena slika prema nama. U sustavu mirovanja, tj. našem uhu (mikrofonu), zbog Dopplerovog učinka, frekvencije njihovih tonova malo se razlikuju, zbog čega i nastaju zvučni udari. Naime, zvučni udari nastaju interferiranjem tonova bliskih frekvencija, pri čemu je period udara obrnuto proporcionalan razlici njihovih frekvencija Δf [7]. Slika 3 prikazuje zvučni zapis glazbene vilice u gibanju. Program Audacity omogućuje točno mjerenje frekvencije glazbene vilice $f = 1975$ Hz i frekvencije udara $\Delta f = 2,5$ Hz. Iz tih podataka, uz poznatu brzinu zvuka $v_z = 330$ m/s, određujemo brzinu gibanja vilice

$$v = \frac{\Delta f}{2f} v_z = \frac{2,5}{2 \cdot 1975} \cdot 330 = 0.2 \text{ m/s.} \quad (1)$$

Istraživanje elektromagnetske indukcije

U ovom primjeru pokazujemo kako izlaz za zvučnike računala možemo upotrijebiti kao generator napona, a mikrofonski ulaz kao precizan voltmetar. Priključke je najjednostavnije izraditi rezanjem, a potom spajanjem dvaju kablova – jednoga na kojem se nalaze stege (tzv. krokodilke) i drugoga na kojem su poželjno neispravne slušalice, a koji ima utikač za zvučnu karticu. Za generiranje signala koristimo program Scope [3] koji se sastoji od dva potprograma: osciloskopa i generatora signala. U primjeru opisanome na Slici 4 istražujemo oblik i amplitudu induciranoga napona u sekundaru transformatora ovisno o obliku napona i međusobnoj udaljenosti zavojnica. Primjer možemo obogatiti dodavanjem transformatorskih jezgri načinjenih od različitih materijala, ili jednostavno promatrati indukciju, koja nastaje pomicanjem stalnoga magneta u sekundaru [10].



SLIKA 4. Jedna zavojnica školskog transformatora (primar) spojena je na priključak za zvučnike, a druga (sekundar) na mikrofonski ulaz zvučne kartice (lijevo gore). Signal generator programa Scope (desno gore) generira pravokutni napon na primaru, dok se na sekundaru inducira napon koji promatramo programom Audacity (lijevo dolje). Udaljavanjem zavojnica inducirani napon se smanjuje (desno dolje).

LITERATURA

1. Brown D., Tracker - program za video analizu s primjerima (<http://physlets.org/tracker/>).
2. Audacity, program za analizu zvuka, (<http://www.audacityteam.org/download/>).
3. Zeitnitz C., Soundcard Oscilloscope, (http://zeitnitz.de/Christian/Scope/Scope_en.html).
4. Experiments with a PC sound card, (<http://www.leapsecond.com/pages/sound-1pps>).
5. Hunt M. B. and Dingley K. (2002), Use of the sound card for datalogging, Phys. Educ. **37**, 251-253.
6. Ganci S. (2008), Measurement of g by means of the improper use of sound card software: a multipurpose experiment Phys. Educ. **43**, 297-300.

7. Bensky T. J., Frey S. E. (2001), Computer sound card measurements of the acoustic Doppler effect for accelerated and unaccelerated sound sources, *Am. J. Phys.* **69**, 1231–1236.
8. Farkas N. and Ramsier R. D. (2006), Measurement of coefficient of restitution made easy, *Phys. Educ.* **41**, 73–76.
9. Wolfe J., Interesting and inexpensive experiments for high school physics, (<http://newt.phys.unsw.edu.au/~jw/I&Iexperiments.pdf>).
10. Trumper R. and Gelbman M. (2000), Investigating electromagnetic induction through a microcomputer-based laboratory *Phys. Educ.* **35**, 90–95.
11. Margetić N. (2011), diplomski rad, Metodička obrada gibanja analizom video zapisa, Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu voditelj: I. Aviani (http://bib.irb.hr/datoteka/560678.N_Margetic_diplomski_rad_PMFZG_2011.pdf).
12. Butulija D., diplomski rad (2011), Metodička obrada periodičnih gibanja analizom video zapisa, Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu voditelj: I. Aviani (http://bib.irb.hr/datoteka/564901.D_Butulija_diplomski_rad_PMFZG_2011.pdf).
13. McDermott L. C., Rosenquist M. L., van Zee E. H. (1987), Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics, *Am. J. Phys.* **55**, 503–513.
14. Collado R. C., Santos M. E. C. (2015), Design of a Handheld-based Motion Graphing Application for Physics Classes, Proceedings of the 23rd International Conference on Computers in Education. China (http://imd.naist.jp/imdweb/pub/santos_icce15b/paper.pdf).

The computer as a measuring device

Ivica Aviani

Computers are now accessible to almost every teacher and student, and are used in various forms of teaching. However, we rarely use computers as a precise measuring device which would give us a fresh and improved approach to teaching physics. The computer as a measuring device has a great potential for the design and research in interactive teaching. It is equipped with a sound card, microphone input and a speaker output. The newer computers come with integrated microphone and webcam. With the help of free software that controls the sound card, the computer turns into a device for analyzing audio, signal generator, high speed and precision voltmeter or oscilloscope. Therefore, it is possible to accurately measure and observe the phenomena, otherwise inaccessible to human senses, that take place at short intervals. The speaker output can be used as to generate a variable voltage and frequency of the desired shape, the microphone input will act as a sensitive voltmeter. The microphone input can be connected to a magnetic coil, to observe the occurrence of electromagnetic induction or a photodiode, and observe the change in light. Free analysis software allows you to record video analysis and modeling of movement. This way we can objectively observe and analyze natural phenomena and events. The teaching in the classroom is easily performed using the projector and the computer becomes a multimedia device. The lecture is designed to display a brief summary of ideas and possibilities of measurements using computers and free software. It will be shown as a series of experiments and examples of observed phenomena and measurement of physical quantities. We will show how to use echo to measure distance, how to use the Doppler effect to measure the speed of movement, how to analyze the interference of sound waves, etc. Using web cameras we will record a body in motion, and use the motion to analyze and visualize in accordance with the concepts of teaching for primary and secondary school