

# Demonstracijski pokusi u nastavi fizike: Pretvorba energije

---

Kranjec, Leo

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:339398>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-25**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

DIPLOMSKI RAD

**DEMONSTRACIJSKI POKUSI U  
NASTAVI FIZIKE: PRETVORBE ENERGIJE**

Leo Kranjec

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET  
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: PROFESOR FIZIKE I KEMIJE

Leo Kranjec

Diplomski rad

**DEMONSTRACIJSKI POKUSI U  
NASTAVI FIZIKE: PRETVORBE ENERGIJE**

Voditelj diplomskog rada: doc. dr. sc. Dalibor Paar

Ocjena diplomskog rada: \_\_\_\_\_

Povjerenstvo:

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_

Datum polaganja: \_\_\_\_\_

Zagreb, 2017.

*Velike zahvale dugujem svom mentoru prof. doc.dr.sc. Daliboru Paaru na ukazanom povjerenju pri odabiru teme, vremenu i trudu koje je uložio te na svim korisnim savjetima.*

*Zahvaljujem se članovima komisije prof. dr.sc. Nenadu Pavinu, prof.dr.sc. Tajani Preočanin te izv.prof.dr.sc. Draginji Mrvoš-Sermek na komentarima i prijedlozima vezanim uz rad.*

*Povrh svega zahvaljujem se svojoj obitelji, posebice baki i djedu koji su me pratili kroz cijelo školovanje. Zahvaljujem se prijateljici i kolegici Luciji Tustanić na zajedničkom radu tokom studija.*

*Na koncu zahvaljujem svojim prijateljima Domagoju Čoti, Marini Odorčić, Ivanu Furešu, Krunoslavu Bešeniću, Bernardi Lokner te ostalima koji su mi pružali podršku sve ovo vrijeme.*

## SADRŽAJ:

<b>1.Uvod .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Demonstracijski pokusi u nastavi fizike .....</b>	<b>4</b>
2.1. Istraživački usmjerena nastava .....	5
2.2. Interaktivno usmjerena nastava.....	7
<b>3. Energija i pretvorbe energije .....</b>	<b>9</b>
3.1. Što je to energija?.....	9
3.2. Ima li tijelo energiju? .....	10
3.3. Pretvorbe energije.....	11
3.3.1. Zakon očuvanja energije .....	11
3.3.2. Rad i toplina.....	16
<b>4. Demonstracijski pokusi iz pretvorbi energije .....</b>	<b>19</b>
Pokus 1. Bacanje loptica .....	19
Pokus 2. Autići na navijanje .....	22
Pokus 3. Model krvotoka.....	26
Pokus 4. Kuglice za bor .....	27
Pokus 5. Sačma .....	32
Pokus 6. Model fotoelektričnog efekta .....	36
<b>Zaključak.....</b>	<b>40</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>41</b>

## **SAŽETAK**

U okviru rada diskutiraju se metode izvedbe nastave fizike koje bi trebale rezultirati boljim razumijevanjem nastavnih sadržaja i stjecanjem trajnih znanja. Pri tome je ključan fizikalni pokus kao središnji element nastavnog sata fizike. Na primjeru teme o pretvorbi energije temeljene na zakonu očuvanja energije, daje se pregled odabranih demonstracijskih pokusa kojima bi se mogli postići navedeni ciljevi.

### **Ključne riječi:**

Istraživački usmjerena nastava, interaktivno usmjerena nastava, pokus, zakon očuvanja energije, pretvorbe energije

## **ABSTRACT**

In this work, methods of performing physical teaching are discussed, which should result in a better understanding of teaching content and the acquisition of persistent knowledge. The physical experiment has a key role as the central element of the physics teaching. In an example of energy-based transformation topic, an overview of selected demonstration experiments is provided to achieve these goals.

### **Keywords:**

Research-oriented teaching, interactive oriented teaching, experiment, conservation of energy law, energy conversion

## 1. Uvod

Svakodnevno u medijima možemo slušati o obrazovanju, o tome kako sustav školstva nije dobar, kako su škole neopremljene i kako naša nastava zaostaje za ostatkom svijeta. Mnogi će roditelji krivce tražiti upravo u profesorima. S druge strane, profesori fizike mogu biti pokretači promjena. Nastavni sadržaj koji je usmjeren na uočavanje promjena koje se oko nas događaju, razmišljanje i zaključivanje bitno utječe na znanje i vještine učenika uz rušenje unaprijed postavljenih barijera.

*„Učenje bez razmišljanja je prazno, razmišljanje bez učenja je opasno.“*

Lao Tse

Kada učenike pitamo što ih podsjeća na nastavu fizike većinom su to odgovori poput puno matematike, hrpa formula, komplicirano gradivo. Ova potpuno pogrešna percepcija fizike zahtijeva temeljito promišljanje o ulozi nastavnika i efikasnosti prijenosa znanja iz fizike u sadašnjem obrazovanju. Da li nastava fizike može biti atraktivna, uzbudljiva, poticajna, intrigantna? Mogu li nastavnici i bez velikih formalnih izmjena kurikuluma napraviti bitne promjene?

Nastava je oblik komunikacije s učenicima. U nastavi fizike ta komunikacija zahtjeva poveću intelektualnu angažiranost učenika, sluša njihove ideje, traži pretpostavke i opise. Traži učenikovo mišljenje te ga razvija. Nastava fizike od učenika traži vizualizaciju problema te njegovo rješavanje u koracima. Podizanje učenikovog razmišljanja na višu razinu i upućivanje na moguće ishode. Iz svih navedenih razloga jest upravo pokus temelj nastave fizike. Pokus je neposredno iskustvo koje se ne može steći teorijskim razmatranjem. Zadatak ovog rada je pokazati, kako se na taj način može učenicima predočiti jedna od temeljnih fizikalnih zakonitosti – zakon očuvanja energije. Pri tome se želi pokazati da fizikalni pokus u školi ne zahtijeva skupu opremu, već kreativnog nastavnika koji će na odgovarajući način pobuditi znatiželju i istraživanje učenik

## 2. Demonstracijski pokusi u nastavi fizike

U ovom ćemo se poglavlju baviti sljedećim pitanjima:

Koja je uloga pokusa u nastavi fizike?

Na koji naćin pokusi doprinose obrazovnim ishodima?

Koji oblici nastave su predloženi kako bi nastava fizike bila što efektivnija?

Današnjem tržištu rada, kojemu najpotrebnija zanimanja leže u područjima tehnologije, znanosti i inženjerstva, važno je prilagoditi obrazovne metode kako bi se kod ućenika potaknuo interes za znanost i time osigurao veći broj zaposlenih i kvalitetno obrazovanih ljudi u tim područjima. Nastava koja se temelji na otkrivanju novih pojava, uoćavanju i rješavanju problema iziskuje od ućenika veći intelektualni napor jer omogućava ućeniku da sam dolazi do rješjenja i pokušava interpretirati ista.

Istraživaćki pristup je temeljni naćin za usvajanje znanstvenih koncepata i razumijevanje pojava i svijeta oko nas. Uloga pokusa u nastavi fizike ima višestruki znaćaj u postizanju kvalitete i razumijevanja pojedinog nastavnog sadržaja. Pokus u nastavi fizike između ostalog donosi i ove nastavne ishode u škole :

1. Mogućnost ućenika da sudjeluje u prikupljanju znanja i usvajanju koncepata.
2. Vizualnu predodžbu fizikalnog problema.
3. Pospješuje razumijevanje zakona fizike.
4. Usporedba teorijskog znanja sa pokusom te primjena konceptualnog razumijevanja na svijet oko sebe.

Jedan od naćina podučavanja fizike, a ujedno i najćešći je prepuštanje ućenicima da sami bez smjernica i pomoći nastavnika, pasivnim upijanjem informacija shvate neke osnovne fizikalne procese i pojave. Među velikim brojem nastavnika prisutno je uvjerenje da takvom metodom ućenici najbolje uće, ali takav pristup može dovesti do nekoherentnog i nepotpunog razumijevanja nastavne građe. Taj model isključuje sve ostale mogućnosti poput interaktivnih demonstracijskih pokusa, diskusija tijekom nastavnog sata, grupni rad i slićno, za koje je dokazano da uvelike potiću interes ućenika, a samim time obećaju kvalitetnije i bolje rezultate.



## 2.1. Istraživački usmjerena nastava

Učenje putem otkrivanja zasigurno je jedno od najosnovnijih istraživačko orijentiranih učenja. Bazirano je na „Eureka“ pristupu. Koristi se niz usmjerenih aktivnosti i popratnih pitanja. Wenningova (2005.) definicija učenja putem otkrivanja ističe da nastavnik u velikoj mjeri ima kontrolu nad intelektualnim i manipulativnim procesima (za razliku od ostalih definicija gdje se učenici mogu „igrati“ s nastavnim materijalima bez usmjerenja nastavnika u nadi da će naići na koncepte i principe). Naglasak ovog oblika učenja nije na pronalasku objašnjenja pojava ili zahtijevanju znanja već na izgradnji konceptualnog znanja temeljenog na iskustvima iz prve ruke. Novi se pojmovi uvode tek nakon što se razviju. Dok su objašnjenja isključena iz ove razine istraživanja, buduća će se objašnjenja temeljiti na ovoj i ujedno još naprednijoj metodi. Nastavnik ne traži usmjerenje od učenika te održava kontrolu nad njihovim aktivnostima. Dok prolaze kroz učenje otkrivanjem, učenici usvajaju temeljne vještine intelektualnog procesiranja. Možda najočitiji u ovom primjeru jesu poučavanje, formuliranje pojmova, procjenjivanje, zaključivanje te razvrstavanje rezultata. Malo je vjerojatno da će bilo koji primjer učenja istraživanjem imati dodirne točke a svim ovim oblicima vještina intelektualnog procesiranja. Tijekom školske godine kroz različite predmete i istraživačke sljedove, sve se navedene intelektualne vještine mogu razviti kroz vježbu.

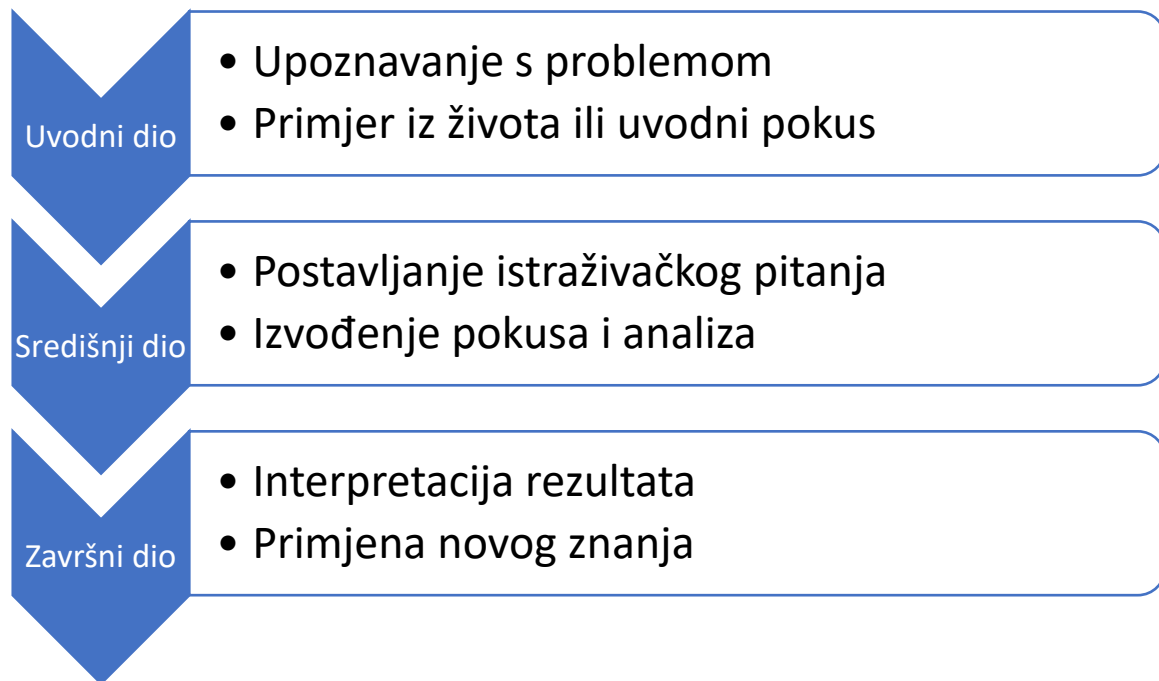
Kada govorimo o strukturi nastavnog sata koji je istraživački usmjeren on je obično podijeljen u tri dijela : uvodni dio, središnji dio i završni dio.

U uvodnom dijelu učenike upoznajemo s problemom, pronalazimo neki primjer iz svakodnevnog života ukoliko je to moguće i prikupljamo učeničke ideje kako riješiti problem koji smo pred njih postavili. Ako sat ne otvorimo pitanjem, možemo ga otvoriti pokusom kako bismo demonstrirali novu pojavu. Učenici izlažu svoje ideje o novoj pojavi te se zajednički dolazi do naziva same pojave.

Središnji dio je onaj u kojemu mi postavljamo istraživačko pitanje koje je temelj nastavnog sata. Istražuje se nova pojava na način da se provjerava o čemu ona ovisi, gdje učenici sami predlažu pokuse i metode kako bismo mogli provjeriti pojedine ovisnosti. Upravo je pokus ključ ovog dijela sata. Pomoću njega učenici upotrebljavaju brojne intelektualne vještine (predviđanje, opisivanje, računanje, crtanje, obrada rezultata, predlaganje novih ideja ).

Završni dio sata ima svrhu evaluacije novog znanja, tumačenje dobivenih rezultata te uputiti na njegovu moguću primjenu. U ovom dijelu možemo provjeriti dodatnim pitanjima kolika je

usvojenost novog gradiva, pitati učenike za neke druge metode provjere rezultata te diskutirati o rezultatima koji su dobiveni.



*Slika 1. Struktura nastavnog sata koji je istraživački usmjeren.*

## 2.2. Interaktivno usmjerena nastava

*„Glavni je problem nastave fizike što ona učenicima prezentira odgovore na pitanja koja nikada nisu bila postavljena „*

Gustav Šindler

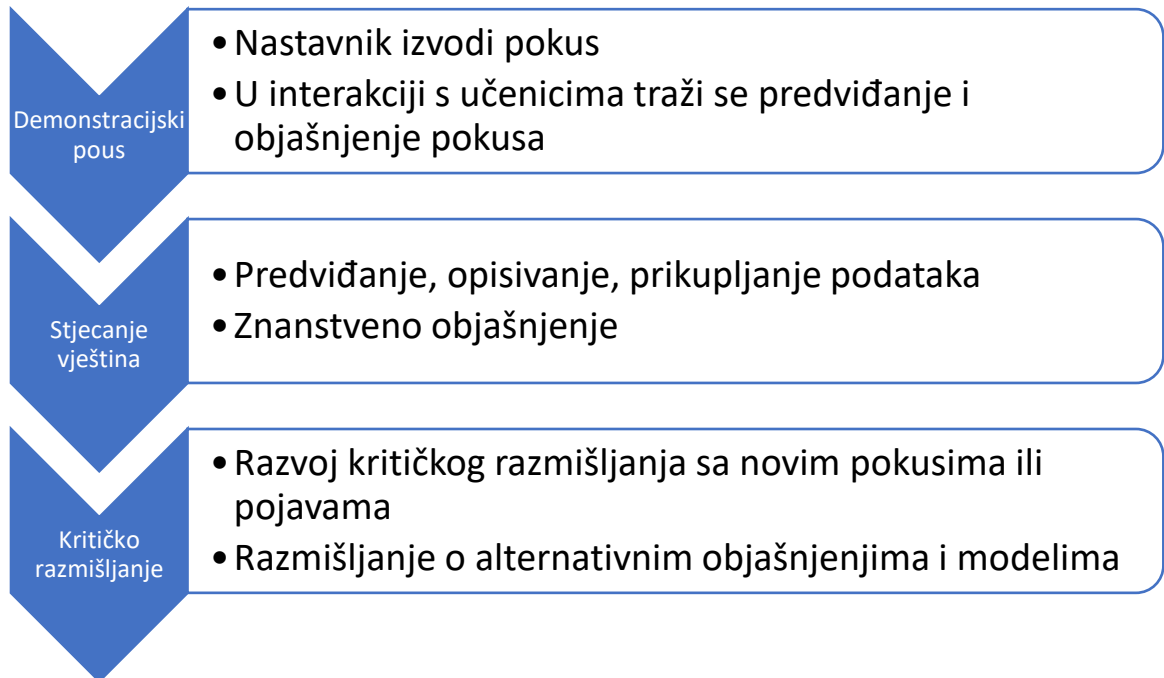
Interaktivna nastava u smislu demonstracije, obično se sastoji od nastavnika koji demonstrira određeni pokus i postavlja pitanje o tome što će se dogoditi (traži predviđanje učenika) ili kako ili zašto se nešto moglo dogoditi (traži se učenika objašnjenje). Nastavnik je dakle zadužen za provođenje demonstracije, razvijanje i postavljanje pitanja, pobuđivanje odgovora u potrazi za alternativnim konceptima. Učenika se postavlja u slučaj kognitivne disonance kako bi se mogao suočiti s alternativnim konceptima, traženjem daljnjih objašnjenja. Također učenik se potiče da iznese svoje predviđanje, da usporedi svoje predviđanje sa dobivenim rezultatom te uz zajedničku raspravu i pitanja dolazi do zaključka na temelju eksperimentalnih rezultata. Nastavnik svjesno izaziva predrasude učenika („miskonceptije“) te se zatim u zajedničkoj diskusiji one i rješavaju adekvatnim dokazima u obliku pokusa. Najvažniji je čimbenik ovakve nastave što je ona s nastavnika prebačena na učenika. Nastavnik je onaj koji navodi učenike do zaključaka, koji postavlja pitanja i usmjerava ih prema rezultatima koji su postavljeni kao obrazovni ishodi. Na nastavniku je da modelira odgovarajuće znanstvene postupke i na taj način implicitno poučava. U isto vrijeme nastavnik počinje eksplicitno podučavati općenite procedure i znanstvene prakse.

Dok prolaze kroz interaktivne metode demonstracije, učenici usvajaju osnovne vještine intelektualnog procesiranja kao i druge koje su pokazivali i u istraživačkoj nastavi. Ovi profinjeniji intelektualni procesi uključuju sljedeće:

- a) Predviđanje ishoda pokusa
- b) Opisivanje i tumačenje viđene pojave
- c) Procjenjivanje, prikupljanje i procesiranje podataka
- d) Formulacija znanstvenog objašnjenja korištenjem logike i dokaza
- e) Prepoznavanje i analiziranje alternativnih objašnjenja i modela.

Važno je napomenuti da odgovornost za kritičko razmišljanje ugrađujemo u učenike svakim novim eksperimentom i novom promatranom pojavom. Učenici moraju imati priliku

izraziti svoja predviđanja, komentirati rezultate i opisivati pojave koje su vidjeli sve u svrhu kako bi , uz pomoć nastavnika došli do željenog obrazovnog ishoda.



Slika 2. Ključni elementi interaktivne nastave fizike.

### 3. Energija i pretvorbe energije

#### 3.1. Što je to energija?

*„...postoji određena veličina, koju zovemo energijom, koja se ne mijenja u mnogostrukim promjenama kroz koje priroda prolazi. To je apstraktna ideja, jer predstavlja matematički princip; kaže da postoji numerička veličina koja se ne mijenja kad se nešto dogodi. Nije to opis mehanizma ili nečeg konkretnog, samo čudna činjenica da možemo izračunati neki broj, pa kad završimo s promatranjem prirode koja izvodi svoje trikove i izračunamo taj broj ponovno, on je isti.“*

*Feynman*

U svakodnevnom životu pod pojmom energija podrazumijeva se nešto što koristimo i što se troši. Sa istom percepcijom o energiji učenici dolaze na nastavu fizike te sam pojam ne znaju interpretirati. Temeljni koncepti koje učenici usvajaju su što je zapravo energija te kako znamo da tijela imaju energiju. Vodeći se tim pitanjima pojam energije tumačimo preko znanstvenog načina razmišljanja u kojem učenici dolaze do spoznaje o jednom od temeljnih zakona fizike.

Povijesno, energija je u fiziku uvedena proučavajući sudare. Proučavajući tada poznatu fizikalnu veličinu količinu gibanja, otkriveno je da postoji određeno slaganje umnoška mase i kvadrata brzine,  $mv^2$ . Ovom se relacijom počelo ozbiljnije baviti kada je uočeno da sama količina gibanja (tadašnjega naziva „*vis viva*“ ) nije bila dostatna za određivanje brzina prilikom sudara. Engleski fizičar Thomas Young je novoj je matematičkoj varijabli  $mv^2$  početkom devetnaestog stoljeća pridodao naziv energija. Tek kasnije izraz je korigiran za faktor  $\frac{1}{2}$  te je izraz  $\frac{1}{2}mv^2$  nazvan kinetička energija ili energija gibanja.

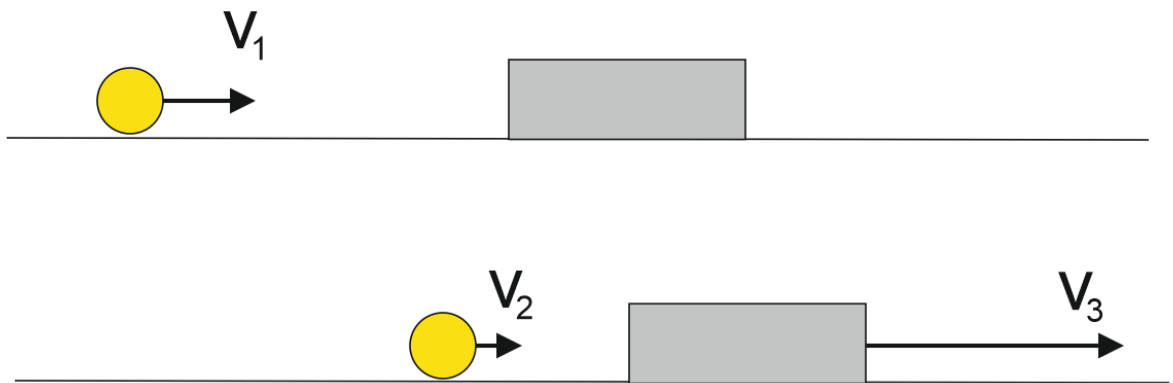
Zašto su definirane količina gibanja i energija?

Odgovor je da je utvrđeno da su te dvije fizikalne veličine u određenim uvjetima očuvane. Sljedeće pitanje koje se postavilo je koji su to uvjeti kada su te veličine očuvane?

Odgovor na sva teorijska pitanja u fizici nalazi se u pokusu. Različitim pokusima, odnosno proučavanjem različitih sustava ili pojava utvrđeno je da su obje veličine u izoliranom sustavu očuvane, uz razliku što energija može poprimiti različite oblike kao što su npr. gravitacijska potencijalna energija (koju promatramo kao rad sile teže u blizini površine Zemlje:  $E_p = W_{\text{gravitacijske sile na tijelo}} = F_g \cdot h = m \cdot g \cdot h$ ) ili elastična potencijalna energija.

### 3.2. Ima li tijelo energiju?

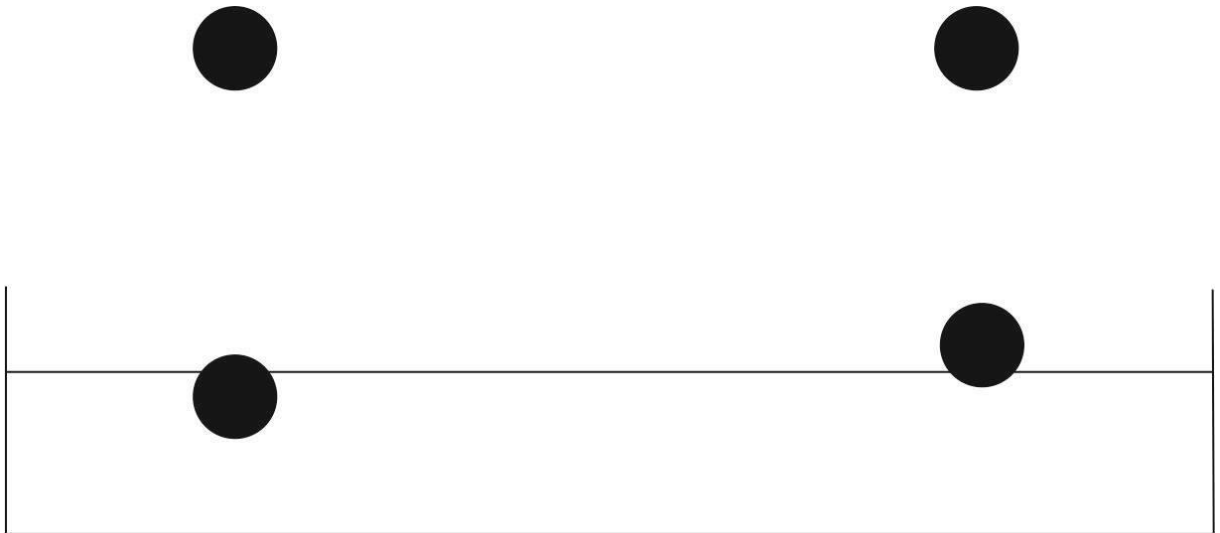
Izvođenjem jednostavnih pokusa iz mehanike možemo početi diskusiju o energiji. Na primjer, gurnemo kuglicu koja zatim udari u kutiju šibica kao što je prikazano na slici 3. Učenici trebaju zaključiti da kutija šibica ima energiju zato što se giba. Pitanja pomoću kojih možemo krenuti u daljnju raspravu su: Kako postići da kutija šibica ima veću energiju? Na koji se način energija predaje kutiji? Što se događa međudjelovanjem tijela? Na taj način indirektno uvodimo koncept rada, koncept prijenosa energije. Iduće pitanje je ima li tijelo energiju ako miruje te na koji bismo način tu pretpostavku mogli provjeriti. Učenici samostalno osmišljavaju način kako bi se nova fizikalna veličina mogla proučavati, iznose pretpostavke na dano istraživačko pitanje, crtaju skicu pokusa i opišu fizikalnu situaciju koja se pokusom proučava.



Slika 3. Kuglica koja nailazi na kutiju šibica. Naznačene su brzine prije i nakon elastičnog sudara.

Uvođenje koncepta gravitacijske potencijalne energije može se izvesti s nekoliko kuglica (što iste što različite mase) te komadom stiropora kao na slici 4. Podignemo li dvije kuglice različite mase na istu visinu i pustimo ih da slobodno padaju, možemo učenike pitati za pretpostavku koja od njih će imati veću energiju tijekom pada na stiropor. Intuitivno očekujemo da će pretpostavka biti da ona koja više potrga stiropor ima veću energiju. U drugom primjeru uzimamo kuglice iste mase ali se one nalaze na različitim visinama. Učenici iznose svoje pretpostavke o tome koja kuglica ima veću energiju te također promatraju učinak na stiroporu. Učenici istraživanjem utvrđuju da energija ovisi o masi tijela i o visini s koje je tijelo pušteno. Vraćamo se na pitanje koja su tijela u međudjelovanju što učenici otprije znaju da su sva tijela na Zemlji u međudjelovanju s njom i da to međudjelovanje nazivamo gravitacijskom silom.

Analogno tome uvodimo gravitacijsku potencijalnu energiju koja uz samo međudjelovanje Zemlje i tijela ovisi i o njihovoj međusobnoj udaljenosti. Učenici iz navedenoga mogu zaključiti kako potencijalna energija nije direktno vidljiva, ali ju možemo mjeriti tijekom pretvorbe u druge oblike energije (npr. kinetičku, energiju deformacije, toplinsku i dr.). Sličan je koncept pokusa s lukom i strijelom gdje se elastična potencijalna energija pretvara u kinetičku. Bez obzira o kojem se obliku energije radi, učenike možemo poticati pitanjima: Kako znamo da tijelo imaju energiju? Koja su tijela bila u međudjelovanju?



*Slika 4. Dvije kuglice različite mase ispuštamo sa iste visine na mekanu podlogu primjerice stiropor*

### **3.3. Pretvorbe energije**

#### **3.3.1. Zakon očuvanja energije**

Zakon očuvanja energije jedan je od temeljnih zakona u fizici. Ono što se uočava u nastavi fizike je da učenici savladaju teorijske koncepte zakona očuvanja energije, ali ga konceptualno dobro ne razumiju. Veću pažnju učenika treba usmjeriti prema boljem razumijevanju fizikalnog sustava koji se promatra i temeljnih fizikalnih veličina koje ga opisuju. To se može postići jasno definiranim pokusom. Koraci u definiranju i interpretaciji fizikalnog sustava su sljedeći:

### **a) Izbor sustava**

Sustav čine sva tijela koja promatramo i koja mogu biti u međudjelovanju. Sve izvan sustava zovemo okolina. Fizikalni interes je proučavati postoji li izmjena energije ili materije između sustava i okoline. Ako te izmjene nema, govorimo o izoliranom sustavu.

Fizikalni model kojim opisujemo pokus ovisi o izboru (definiciji) sustava. To učenicima može biti teže shvatljivo i potrebno je ilustrirati jednostavnim primjerima. Uzmimo na primjer kamen na nekoj visini  $h$  iznad površine Zemlje i promatrajmo pretvorbu energije kada ga ispustimo.

Neka su granice promatranog sustava područje u kome se kamen giba. Tada gravitacijska potencijalna energija koju kamen ima na početku gibanja prelazi u kinetičku energiju nakon što je kamen ispušten.

Isti pokus možemo promatrati tako da kao sustav uzimamo samo kamen. Na sustav tada djeluje vanjska sila – gravitacijska sila. Rad gravitacijske sile kao oblik energije pretvara se u kinetičku energiju kamena.

### **b) Proučavanje pretvorbe energije**

Za promatranje zakona očuvanja energije mogu se odabrati dva trenutka. Ta ćemo dva trenutka nazvati početnim odnosno konačnim trenutkom. Učenici opisuju što se događa s promatranim tijelom u početnom i konačnom trenutku odnosno koje energije tijelo u tim trenucima ima.

Vratimo se na primjer sa kamenom. Ako za početni trenutak uzmemo onaj kada kamen još nije ispušten, kažemo da je kamen na visini  $h$  iznad površine Zemlje i da miruje. Za konačni trenutak možemo uzeti onaj netom prije nego što kamen udari u pod. U početnom trenutku kamen je imao samo gravitacijsku potencijalnu energiju (u odnosu na energiju u konačnom trenutku), dok je u konačnom trenutku imao samo kinetičku energiju (odabrali smo da je gravitacijska potencijalna energija na toj visini 0). Sa učenicima komentiramo kako se energije pretvaraju iz jednog oblika u drugi u vremenskom intervalu padanja kamena.

Nadalje treba naglasiti da apsolutna vrijednost gravitacijske potencijalne energije u polju sile teže nema značenje već samo razlika energije uslijed promjene visine. Stoga je nebitno gdje se stavi nulta razina gravitacijske potencijalne energije.



### c) Stupčasti dijagrami energije

Stupčasti dijagram energije je alat za vizualnu predodžbu pretvorbe energije čime pospješuje bolje konceptualno razumijevanje zakona očuvanja i razumijevanje matematičkih relacija kojima se oni opisuju. Dijagrami su isključivo grafička pomoć pri rješavanju konceptualnih zadataka. U njima se energija ne prikazuje kao funkcija vremena niti položaja, već samo u dva promatrana trenutka gledamo koje je energije tijelo imalo u tim trenucima. Iznosi (na dijagramu kvadratići) nisu stvarni iznosi energija, već samo predodžba energije. Ono što je na dijagramima bitno jest samo da dijagram lijevo (početni trenutak) ima jednak iznos kvadratića kao dijagram desno (konačni trenutak) kako bismo dali do znanja kako je iznos ukupne energije u početnom i konačnom trenutku ostao stalan. U slučaju otvorenog sustava energija u sustav ulazi kao rad.

Kroz dijagrame i matematičke zapisane zakonitosti, učenik treba razumjeti temeljne principe zakona očuvanja energije, a to je da je energija izoliranog sustava u početnom trenutku jednaka energiji u konačnom (i svakom drugom trenutku). Energija se ne može stvoriti ili uništiti već samo mijenjati iz jednog oblika u drugi.

Na slikama dijagrama lijevi dijagram prikazivati će početni, a dijagram desno konačni trenutak.

Oznake u stupčastim energijskim dijagramima:

- a)  $E_k$  - kinetička energija
- b)  $E_p$  - gravitacijska potencijalna energija
- c)  $E_{el}$  - elastična energija
- d)  $W$  - rad
- e)  $Q$  - toplina
- f)  $\Delta U$  - promjena unutarnje energije

#### **Primjer 1. Bacanje kamena s visine $h$**

Sustav : kamen u području u kome se giba, odnosno od površine Zemlje do visine  $h$ .

Početni trenutak :kamen miruje na visini  $h$  iznad površinu Zemlje

Konačni trenutak : netom prije pada kamena na površinu Zemlje

Nulta razina gravitacijske potencijalne energije : površina Zemlje

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku:



*Slika 5. Grafički prikaz gravitacijske potencijalne energije kamena u početnom trenutku te grafički prikaz kinetičke energije kamena u konačnom trenutku. (Elastična energija  $E_{el}$  će biti aktualna u idućem pokusu).*

Učenici zaključuju da je u početnom trenutku tijelo imalo gravitacijsku potencijalnu energiju  $E_p$  u odnosu na površinu Zemlje koja je ovdje odabrana kao nulta razina. U konačnom je trenutku tijelo imalo kinetičku energiju  $E_k$ . U ovom je pokusu došlo do pretvorbe gravitacijske potencijalne energije u kinetičku energiju. Iznosi energija u početnom i konačnom trenutku su jednaki što nam govori činjenica da su dijagrami nacrtani u istim vrijednosnim razinama. Broj kvadratića na dijagramima grafički je prikaz da je iznos energije u početnom i konačnom trenutku jednak.

### **Primjer 2. Ispaljivanje strijele**

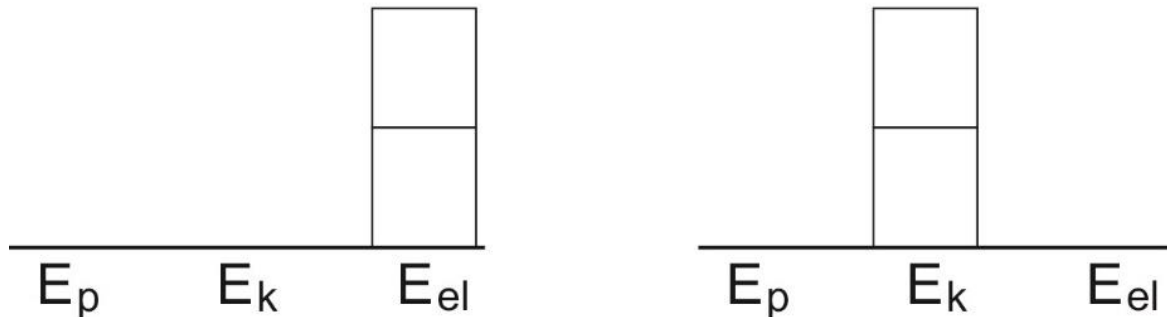
Sustav : luk i strijela u području u kome se strijela giba

Početni trenutak : strijela na napetom luku

Konačni trenutak : strijela je ispaljena

Nulta razina gravitacijske potencijalne energije : visina na kojoj se nalaze luk i strijela

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku:



*Slika 6. Grafički prikaz elastične potencijalne energije luka u početnom trenutku te grafički prikaz kinetičke energije strijele u konačnom trenutku.*

U ovom primjeru možemo vidjeti kako se sva elastična potencijalna energija luka  $E_{el}$  u početnom trenutku pretvorila u kinetičku energiju strijele  $E_k$  u konačnom trenutku. Valja napomenuti kako smo za nultu razinu gravitacijske potencijalne energije uzeli visinu na kojoj se nalaze luk i strijela kako bismo ju isključili iz energetskog dijagrama. Ukoliko bismo za nultu razinu uzimali pod ili neku drugu razinu u dijagramu bismo imali s obje strane gravitacijsku potencijalnu energiju samo joj se iznos u početnom i konačnom trenutku ne bi mijenjao. Ovaj model primjenjujemo samo za vrlo kratki vremenski period kao što je napisano u početnom i konačnom trenutku. Konačni trenutak je izabran upravo onaj netom što je strijela ispuštena zato što se dalje u vremenu u nekom drugom trenutku, mijenja i iznos gravitacijske potencijalne energije zbog međudjelovanja Zemlje i strijele, strijela pada.

Ovom metodom može se pristupiti bilo kojem fizikalnom problemu kojeg razmatramo preko energijskog aspekta. Navedena metoda biti će korištena u demonstracijskim pokusima u poglavlju 4.

### 3.3.2. Rad i toplina

U nekim udžbenicima fizike može se pronaći definicija energije kao sposobnosti tijela da vrši rad. Učenici rad vežu uz umnožak sile i pomaka duž kojeg ta sila djeluje. No je li to stvarna fizikalna interpretacija rada?

Rad je promjena energije koja uključuje djelovanje sila. Rad podrazumijeva izmjenu energije između tijela. Pri tome definiramo tijela koja vrše rad te tijela na koje je rad izvršen. Tijelo koje vrši rad predaje energiju, a tijelo na koje je obavljen rad prima energiju. Iz toga lako možemo zaključiti da je rad jedan od načina pretvorbe energije.

Za razliku od energije koja opisuje stanje sustava, rad je proces koji se odnosi na promjenu energije sustava u određenim vremenskim intervalima. Vratimo li se na energijske dijagrame, rad skiciramo između početnog i konačnog trenutka u kojima promatramo oblike energije koje ima tijelo.

Predznak rada određuje smjer prijenosa energije. Pozitivan rad povećava energiju tijela. U primjeru gibanja tijela u mehanici pozitivan rad znači da je komponenta sile u smjeru gibanja.

Negativan rad smanjuje energiju tijela. U istom primjeru u mehanici, to znači da sila ima komponentu suprotnu smjeru gibanja.

Rad kao jedan od načina prijenosa energije učenicima treba uvesti nakon što se usvoje koncepti o energiji i pretvorbi energije. Rad se uvodi kao proces same pretvorbe te se naglašava njegovo mjesto u energijskom dijagramu između početnog i konačnog trenutka. Na primjer možemo promatrati podizanje utega sa stola na pod gdje se rad sile ruke koristi za podizanje utega. Taj rad se koristi za povećanje gravitacijske potencijalne energije utega.

#### **Primjer 3. Rastezanje pračke**

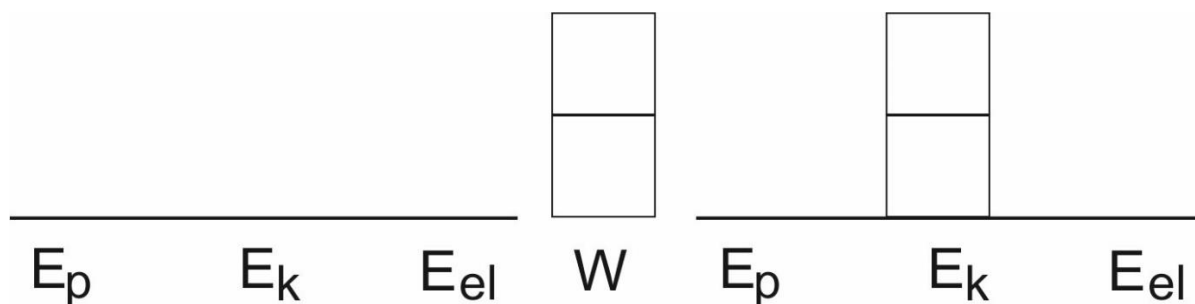
Sustav : pračka i područje u kome se kamen giba

Početni trenutak : pračka je rastegnuta

Konačni trenutak : ispustimo kamen sa pračke

Nulta razina gravitacijske potencijalne energije : visina  $h$  na kojoj se nalazi pračka

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku:



Slika 7. Grafički prikaz rada izvršenog nad praćkom u početnom trenutku te grafički prikaz kinetičke energije kamena u konačnom trenutku.

U ovom primjeru možemo vidjeti kako smo mi djelovali vanjskim radom  $W$  na sustav i da je taj rad pozitivan stoga se ukupna energija sustava mora povećati. U konačnom će trenutku ukupna energija kamena iznosom biti jednaka radu koji smo izvršili na sustav. Ovaj model opisuje energiju sustava u početnom i konačnom trenutku. Početni trenutak onaj kada rastegnemo praćku, dok je konačni trenutak netom što ispustimo kamen. Rastezanjem elastične gume (napinjanjem praćke) povećava se elastična potencijalna energija praćke. Potom elastična potencijalna energija praćke prelazi u kinetičku energiju kamena. Na kamen u gibanju djeluje sila teža te on mijenja visinu, odnosno pada.

Lanac pretvorbi energije:  $W_1$  (rad ruke na praćku)  $\rightarrow$  elastična potencijalna energija praćke  $\rightarrow$   $W_2$  (rad praćke na kamen)  $\rightarrow$  kinetička energija kamena i  $W_3$  (rad gravitacijske sile na kamen).

U energijskom dijagramu je grafički prikazana druga pretvorba energije u sustavu.

Toplina je također pojam koji koristimo u svakodnevnom životu, ali je ponekad fizikalno krivo upotrebljavan jer se ne razumije veza između temperature kao lako mjerljive fizikalne veličine i topline. Što je zapravo toplina?

Toplina je kao i rad oblik energije, odnosno prijenos topline je jedan od načina pretvorbe energije. Toplinu razmjenjuju tijela koja se nalaze na različitim temperaturama. Toplina također poput rada ne opisuje stanje sustava, već ona opisuje proces prijenosa energije. Ne možemo reći da neko tijelo ima određenu toplinu isto kao što ne možemo reći da neko tijelo sadrži rad. Toplina ovisi o masi tijela. Potrebno je dovesti različite iznose topline kako bismo tijelima različite mase promijenili temperaturu za isti iznos. Uz to količina prenesene topline ovisi i o

materijalu od kojeg je tijelo napravljeno. Matematički iznos topline možemo opisati na sljedeći način:

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T, \quad (1)$$

Gdje je  $Q$  dovedena toplota tijelu,  $m$  je masa tijela,  $c_p$  je specifični toplinski kapacitet tijela pri konstantnom tlaku,  $\Delta T$  je razlika u temperaturama.

U svakom termodinamičkom sustavu tijelo posjeduje unutarnju energiju. Unutarnja energija je zbroj svih kinetičkih energija uzrokovanih gibanjem čestica u tijelu te potencijalnih energija koja su posljedica međudjelovanja čestica u tom tijelu. Ona predstavlja stanje sustava u nekom trenutku. Unutarnju energiju sustavu možemo promijeniti tako da sustavu dovodimo/odvodimo energiju u obliku topline  $Q$  ili rada  $W$ . Načini promjene unutarnje energije opisani su u *Tablici 1*.

Matematička relacija koja opisuje promjenu unutarnje energije sustava:

$$\Delta U = Q + W \quad (2)$$

Relacija (2) danas nam je poznata kao prvi zakon termodinamike.

*Tablica 1. Promjena unutarnje energije radom i toplotom*

	$Q$	$W$
Predznak	-	-
Posljedica	Odvođenje topline iz sustava	Sustav vrši rad nad okolinom
Unutarnja energija sustava	Smanjuje se	Smanjuje se
Predznak	+	+
Posljedica	Toplina se dovodi sustavu	Okolina vrši rad nas sustavom
Unutarnja energija sustava	Povećava se	Povećava se

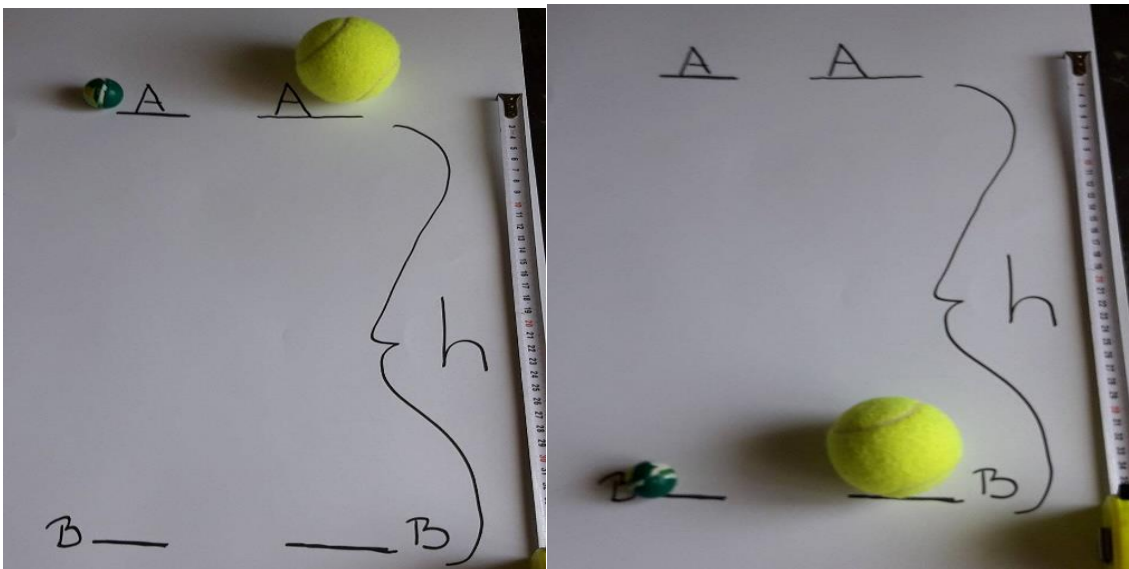
## 4. Demonstracijski pokusi iz pretvorbi energije

U ovom poglavlju dati ćemo primjere pokusa koji uključuju zakon očuvanja energije. Dio pokusa se može koristiti kao demonstracijski, a dio u okviru istraživačke ili interaktivne nastave. Pojedini pokusi se mogu koristiti u različitim temama iz fizike u osnovnoj ili srednjoj školi.

### Pokus 1. Bacanje loptica

**Pribor:** dvije loptice različitih masa, metar.

**Eksperimentalni postav :** Loptice puštamo da slobodno padaju te promatramo njihovo gibanje.



Slika 8. Položaj loptica u najvišem položaju (početni trenutak) te u najnižem položaju (konačni trenutak). Početna visina A i konačna visina B naznačene su na vertikalnoj školskoj ploči uz koju loptice puštamo.

### Konceptualna pitanja i primjena eksperimentalne metode :

#### Osnovna škola :

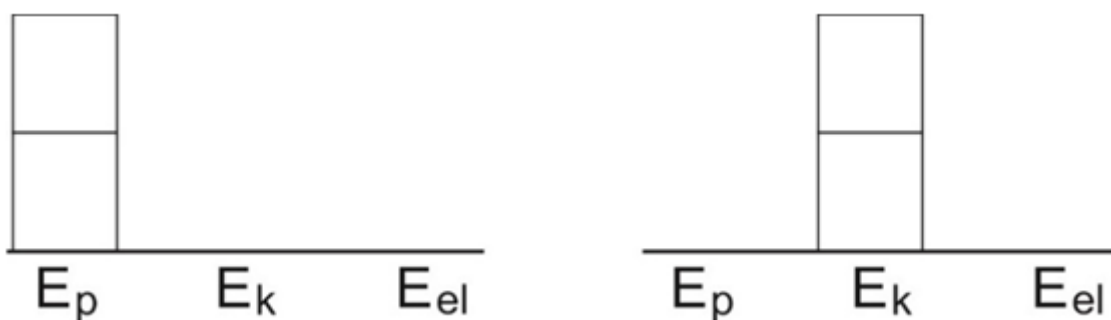
Učenike pitamo za pretpostavku kako će se gibati loptica ( uzimamo u obzir samo jednu lopticu, primjerice tenisku ). Izvedbom pokusa učenici provjeravaju svoje pretpostavke te crtaju skicu pokusa.

Odabiremo sustav u kojem ćemo proučavati zakon očuvanja energije. Što je sve bilo u sustavu? Učenici će za sustav odabrati područje u kome se loptice gibaju. Učenike navodimo da na skici nacrtaju početni i konačni trenutak u kojima će proučavati pretvorbu energije loptica. Koji bismo trenutak mogli uzeti za početni trenutak, a da smo pritom mi isključeni iz sustava? U kojem trenutku loptica ima najveću gravitacijsku potencijalnu energiju? Učenici zaključuju da najveću gravitacijsku potencijalnu energiju loptica ima u najvišem trenutku odnosno u onom kratkom trenutku kada miruje. Taj trenutak ćemo nazvati početnim trenutkom.

Potom nastavimo s pitanjem u kojem trenutku loptica ima minimalnu gravitacijsku potencijalnu energiju te učenici zaključuju da je to onaj trenutak netom prije što loptica padne na stol. Nakon što smo definirali trenutke u kojima poučavamo pretvorbe energije vraćamo se na sustav te iz njega izbacujemo našu ruku. Koja su tijela u međudjelovanju kada govorimo o gravitacijskoj potencijalnoj energiji? Kada učenici odgovore da su u međudjelovanju loptica i Zemlja kažemo im da je stol nulta razina gravitacijske potencijalne energije, jer smo u odnosu na tu razinu promatrali pretvorbu energije. Nas zanimaju samo ona tijela koja utječu na energiju sustava. Učenici na skici označuju početni i konačni trenutak te zapisuju do koje je pretvorbe energije došlo.

Grafički prikaz prikazuju pomoću energijskog dijagrama u kome je u početnom trenutku energija jednaka gravitacijskoj potencijalnoj energiji, a u konačnom trenutku kinetičkoj energiji.

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku:



Slika 9. Grafički prikaz gravitacijske potencijalne energije loptice u početnom trenutku te grafički prikaz kinetičke energije loptice u konačnom trenutku.



## Srednja škola:

Postupak za osnovnu školu također je primjenjiv u srednjoj školi, ali se može produbiti. Učenici u srednjoj školi znaju izraz za kinetičku energiju, za razliku od osnovne škole te se njima mogu zadavati i računski zadaci. Učenici mjere visinu do koje je loptica izbačena. Upitamo ih kolika je brzina u najvišoj točki u kojoj se loptica nalazi? Učenici zaključuju pošto je loptica u tom trenutku mirovala da je brzina iznosom jednaka nuli.

Na koji bismo način mogli izračunati brzinu kojom loptica udara u stol?

Promatramo koje energije loptica ima u konačnom i početnom trenutku te zaključujemo kako možemo izjednačiti gravitacijsku potencijalnu energiju i kinetičku energiju njihovim iznosom.

Ovisi li brzina kojom će loptica udariti u stol o masi same kuglice?

Učenici zaključuju da se mase „pokrate „, te da brzina udarca u stol ovisi samo o visini na kojoj se kuglica nalazila. Postavljamo sljedeće pitanje:

Na koji bismo način mogli postići da loptica manje mase (kao što je prikazano na slici) ima jednaku brzinu udarca kao i veća teniska loptica?

Očekujemo od učenika da će reći kako bismo tu lopticu morali izbaciti na istu visinu kao i tenisku lopticu.

Koja je loptica imala veću energiju u početnom trenutku? Koja je loptica imala veću energiju u konačnom trenutku?

Očekujemo od učenika da kažu kako energije ovise o masi te da je loptica veće mase imala veću energiju, jer su visine na koje smo ih postavili bile jednake, ali su brzine udarca o stol jednake ukoliko se u početnom trenutku nalaze na istoj visini u odnosu na nultu razinu gravitacijske potencijalne energije.

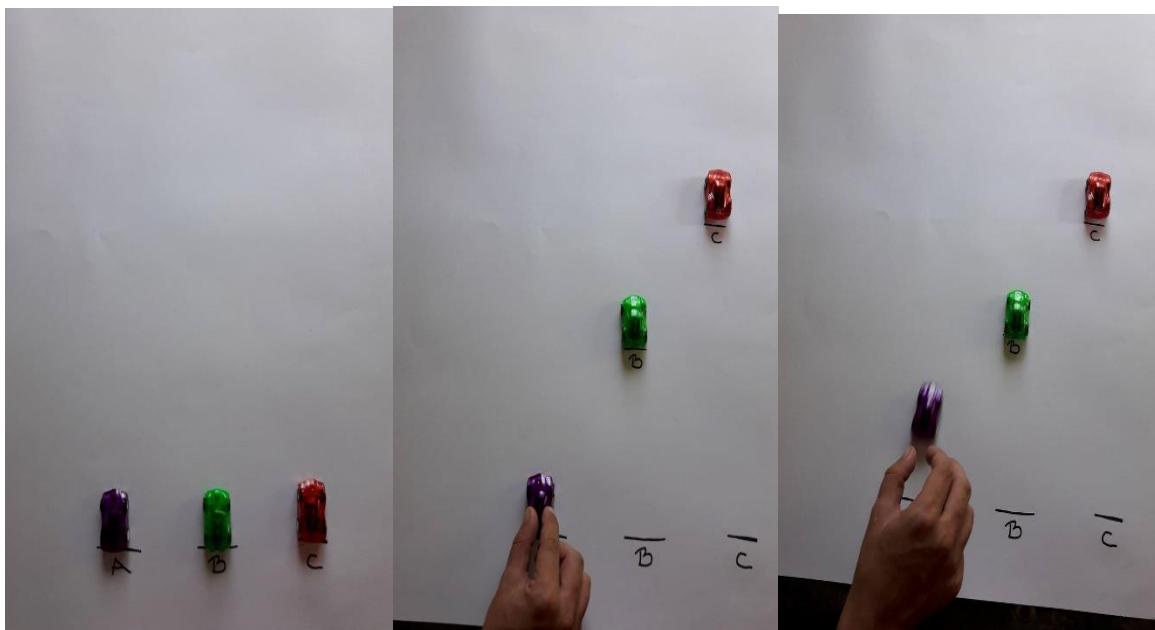
Daljnju raspravu možemo potaknuti time da ih upitamo na koji će način dvije loptice različitih masa imati istu energiju?

Učenici zaključuju da se loptice moraju nalaziti na različitim visinama. Pošto gravitacijska potencijalna energija ovisi o masi izvagali bismo obje kuglice. Odredimo visinu za tenisku lopticu te izračunamo gravitacijsku potencijalnu energiju teniske loptice u odnosu na stol. Pošto želimo postići jednaki iznos energija za obje loptice moramo matematički odrediti do koje visine moramo izbaciti lopticu manje mase kako bi iznosi energija bili jednaki.

## Pokus 2. Autići na navijanje

**Pribor:** Nekoliko autića na navijanje (Srednja škola: metar, štoperica )

**Eksperimentalni postav :** Autiće na navijanje postavimo na ravnu podlogu te ih navijemo i ispustimo iz ruke. Opruga je vidljiva pošto su autići prozirni. U početku je opruga istegnuta, a kada autić navijemo opruga se sabije. U srednjoj školi mjerimo put na kojem se autić gibao jednoliko po pravcu te mjerimo vrijeme potrebno da prevali taj put.



Slika 10. Autići na navijanje. Prikaz pokusa 2.

### Konceptualna pitanja i primjena eksperimentalne metode :

#### Osnovna škola:

Prije same izvedbe pokusa učenicima pokažemo kako u autići u sebi imaju oprugu. Koju vrstu energije ima autić kada ga navinemo? Očekujemo od učenika kako će reći da ima elastičnu potencijalnu energiju. O kojoj energiji tijela ćemo govoriti kada ispustimo autić? Očekujemo da će reći kako autić ima kinetičku energiju zato što se giba. Daljnja diskusija slijediti će korake koji su opisani u poglavlju 3. a moguće ju je provesti pomoću radnog listića.

Primjer radnog listića :

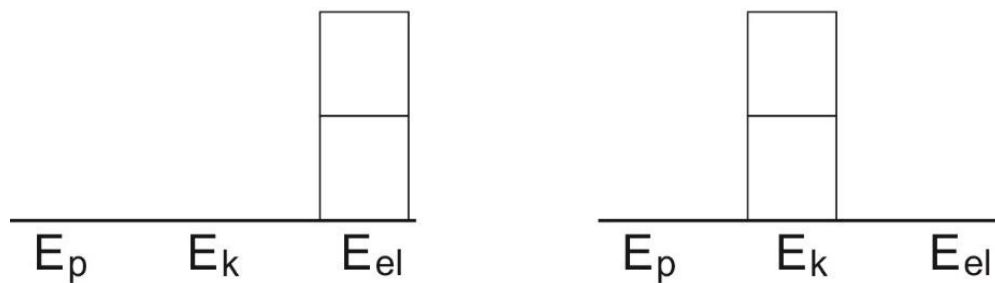
Sustav : \_\_\_\_\_

Početni trenutak: \_\_\_\_\_

Konačni trenutak: \_\_\_\_\_

Nulta razina gravitacijske potencijalne energije: \_\_\_\_\_

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku:



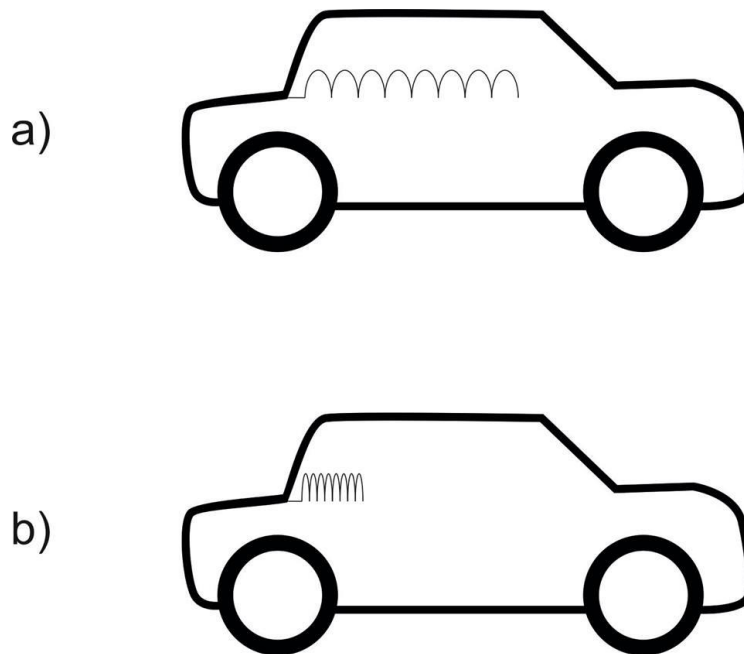
Slika 11. Grafički prikaz elastične energije autića u početnom trenutku te grafički prikaz kinetičke energije autića u konačnom trenutku.

Zaključak:

---

---

Učenici će u sustav uzeti područje gdje se autić giba. Pitamo ih na koji način ćemo izbjeći da naša ruka bude u sustavu? Za početni ćemo trenutak uzeti onaj tik nakon ispuštanja autića iz ruke dok će konačni trenutak biti kada se autić giba. Kako bismo izbjegli gravitacijsku potencijalnu energiju u energetskim dijagramima definiramo nultu razinu gravitacijske potencijalne energije na površini stola. Pošto je autić cijelo vrijeme na istoj razini, njegova se gravitacijska potencijalna energija ne mijenja. Bez obzira gdje se postavi 0, gravitacijska potencijalna energija u ovom pokusu je konstantna. Učenici dolaze do zaključka da je autić u početnom trenutku imao elastičnu potencijalnu energiju, koja je u konačnom trenutku pretvorena u kinetičku energiju.



*Slika 12. Prikaz autića prije (a) sabijanja opruge te nakon sabijanja opruge (b). Pomak opruge mjerimo tako da oduzmemo početni i konačni položaj opruge*

### **Srednja škola:**

Ovaj jednostavan pokus možemo nadograditi u srednjoj školi dodatnim pitanjima. Primjerice tražimo od učenika prijedloge na koji bismo način mogli odrediti konstantu opruge? Što nam je sve potrebno kako bismo mogli pristupiti problemu? Na koji ćemo način iskoristiti zakon očuvanja energije?

Ukoliko znamo da u početnom trenutku autić ima elastičnu potencijalnu energiju

$$E = \frac{1}{2}k\Delta x^2 \quad (3)$$

gdje je  $k$  konstanta opruge, a  $\Delta x$  pomak od ravnotežnog položaja

U konačnom trenutku autić ima kinetičku energiju

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4)$$

gdje je  $m$  masa autića, a  $v$  je njegova brzina.

Promatramo koje parametre moramo izmjeriti kako bismo dobili željenu fizikalnu veličinu.

Učenici predlažu da izvažemo autić kako bismo dobili njegovu masu. Također nakon što navinemo autić možemo ravnalom izmjeriti za koliko se opruga stisnula prilikom navijanja. Na taj ćemo način odrediti pomak  $x$ , kao razliku između konačne i početne duljine opruge.

$$\Delta x = x_{\text{konačno}} - x_{\text{početno}} \quad (5)$$

Početna je duljina opruge veća od konačne jer navijanjem autića sabijamo oprugu.

Ostaje nam pitanje kako ćemo odrediti brzinu autića?

Ponavljanjem pokusa upitamo učenika da opišu kako se autić gibao. Učenici zaključuju da se autić u početku gibao ubrzano, potom približno jednolikom brzinom. Završni dio gibanja u kome se autić uslijed trenja zaustavi ne razmatramo..

Tijelo se giba jednoliko po pravcu kada je resultantna sila na njega jednaka nuli. Procijeniti ćemo udaljenosti (početni i konačni položaj) u kojima se tijelo gibalo jednoliko. Označimo te trenutke. Pošto ne postoji više djelovanje elastične sile odnosno  $\Delta x$  je jednak nuli tijelo više nema elastičnu potencijalnu energiju. Puštamo autić da se giba i mjerimo vrijeme koje je prošlo kada se autić gibao između označenih položaja odnosno kada se gibalo jednoliko pravocrtno. Ponovimo nekoliko mjerenja te odredimo srednju vrijednost brzine autića.

$$v = \frac{s_{\text{uk}}}{t_{\text{uk}}} \quad (6)$$

$s_{\text{uk}}$  – ukupni put

$t_{\text{uk}}$  – ukupno vrijeme

Nakon što smo odredili brzinu autića u segmentu puta gdje se on gibao jednoliko po pravcu imamo sve potrebne fizikalne veličine za odrediti konstantu elastičnosti opruge u autiću.

Napomena : Prilikom svakog ispuštanja autića  $\Delta x$  opruge mora biti jednak.

Uvrštavanjem dobivenih veličina u izraz za zakon očuvanja energije:

$$E_{el} = E_k \quad (7)$$

$$\frac{1}{2}k\Delta x^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

$$k = \frac{mv^2}{\Delta x^2}$$

odredimo konstantu opruge u autiću. S druge strane, ako učenici imaju kao ulazni podatak konstantu opruge, mjerenjem brzine i mase autića te pomaka opruge mogu provjeriti zakon očuvanja energije.

### **Pokus 3. Model krvotoka**

**Pribor :** bočica za vodu, spinner (dječja igračka), gumena cijev, kuhinjska boja, voda

**Eksperimentalni postav :** Bočici s vodom probušimo dvije rupice i spojimo te rupice gumenom cijevi. Ulijemo vodu u bočicu te pomiješamo crvene kuhinjske boje kako bismo dobili model krvotoka. Zavrtno spinner na vrhu boce. Umjesto spinera bocu možemo pritiskati rukom i proučavati kako se giba tekućina kroz sustav ukoliko efekt spinera nije vidljiv.



*Slika 13. Model krvotoka*

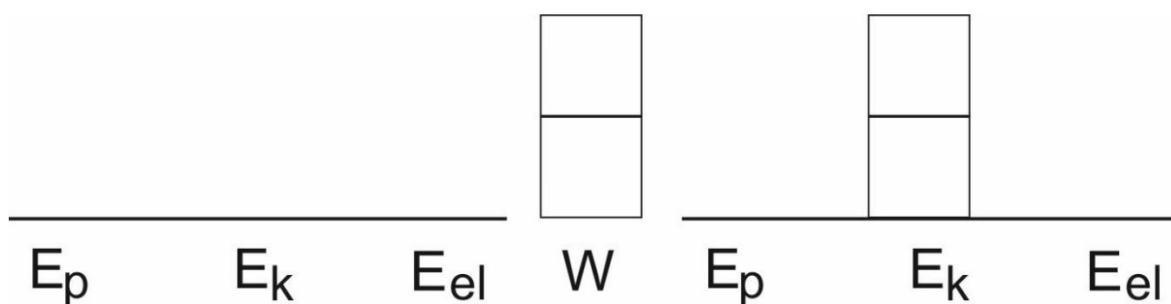
## Konceptualna pitanja i primjena eksperimentalne metode:

### Osnovna škola:

Upitamo učenike koje oblike pretvorbe energije smo upoznali (vraćamo se na poglavlje 3.) Očekujemo da će reći kako su rad i toplina također oblici pretvorbe energije. Što nam je potrebno kada govorimo o radu koji je izvršen nad nekim sustavom? Očekujemo da će učenici reći kako je za rad potrebno međudjelovanje odnosno tijelo koje vrši rad i tijelo nad kojim je rad obavljen. Tko vrši rad kada govorimo o modelu krvotoka? Nad čime je rad obavljen? Dolazimo do zaključaka kako srce (plastična bočica u našem modelu) vrši rad na krvne žile. (gumena cijev u našem modelu). Koja je uloga spinera u pokusu? Spinner u modelu glumi srčani mišić koji pulsira i tako tjera krv.

Do kojih pretvorbi energije dolazi u ovom pokusu? Gdje ćemo odabrati početni i konačni trenutak? Što sve uzimamo u sustav? Kako bismo pretvorbu energije prikazali u energetskom dijagramu?

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku

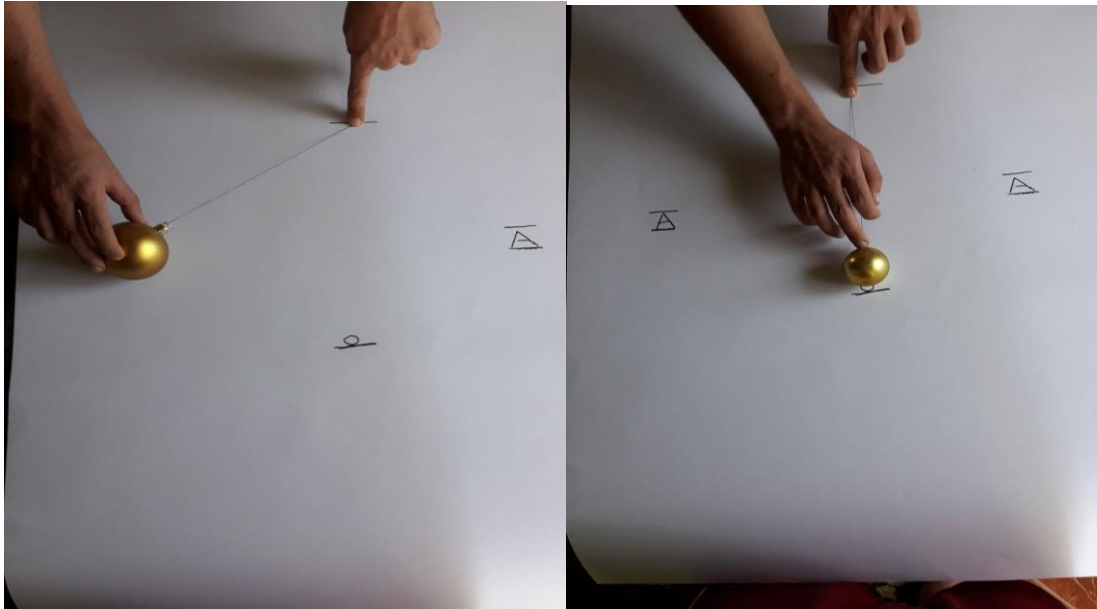


Slika 14..Grafički prikaz rada koji je izvršen nad bocom u početnom trenutku te grafički prikaz kinetičke energije vode u konačnom trenutku.

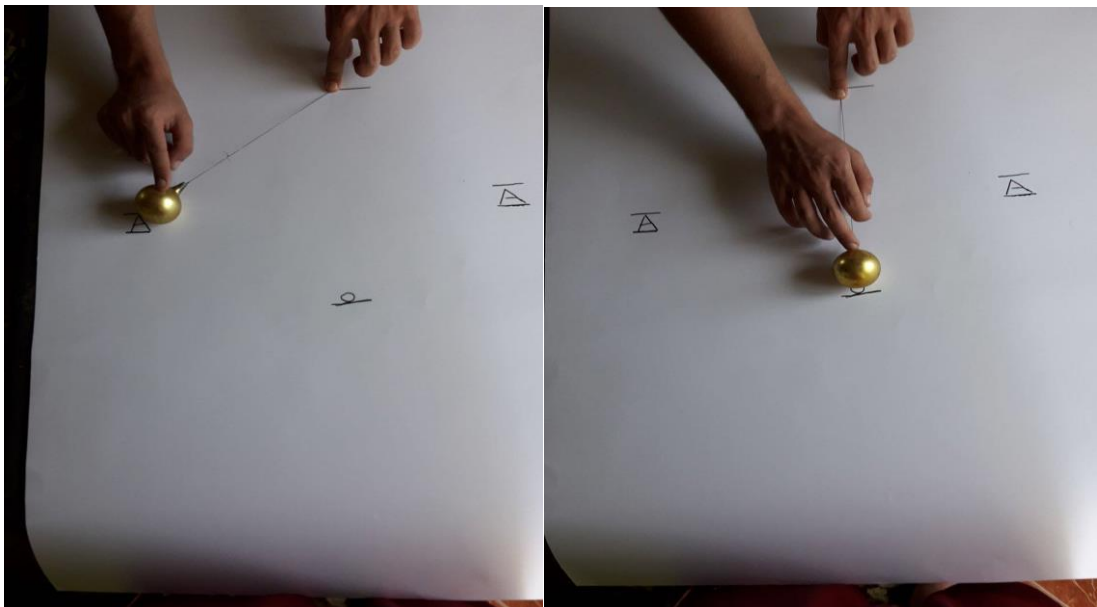
### Pokus 4. Kuglice za bor

**Pribor:** Dvije kuglice za bor različite mase, marker, konac, čavao.

**Eksperimentalni postav:** Kuglicu za bor objesimo na konac te pričvrstimo konac na čavao. Pustimo kuglicu da se zanjše i na papiru ocertamo amplitudni i ravnotežni položaj. Postupak ponovimo za kuglicu veće mase.



*Slika 15. Kuglica A u ravnotežnom i amplitudnom položaju*



*Slika 16. Kuglica B u ravnotežnom i amplitudnom položaju*



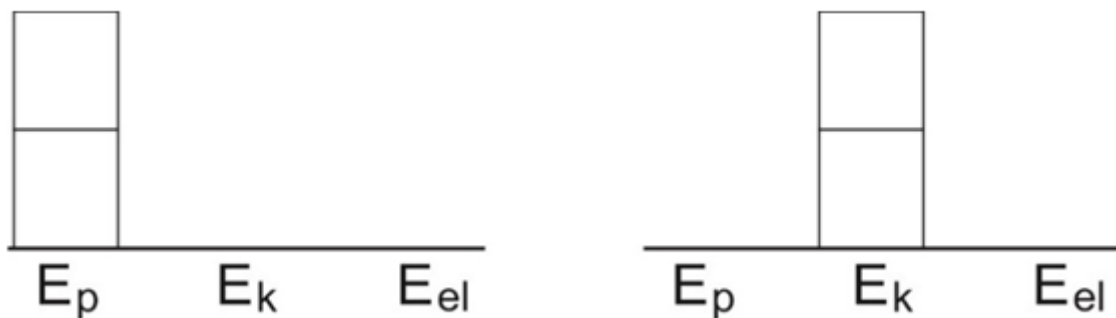
## Konceptualna pitanja i primjena eksperimentalne metode

### Osnovna škola:

Pokus je primjenjiv za određivanje nulte razine gravitacijske potencijalne energije i proučavanje pretvorbi energije od najvišeg položaja do kojeg kuglica dolazi do najnižeg položaja kroz koji ista prolazi.

Koju energiju ima tijelo kada se nalazi u najvišem položaju? Kako to znamo? Očekujemo od učenika da će reći kako ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju jer u tom položaju miruje, pa nema kinetičke energije. Koju energiju ima tijelo kada se nalazi u najnižem položaju? Očekujemo od učenika kako će reći da ima kinetičku energiju jer se tijelo giba. Ima li tijelo u najnižem položaju gravitacijsku potencijalnu energiju? Gdje ćemo postaviti nultu razinu te energije i zašto? Očekujemo da će reći kako ćemo u tom položaju odrediti nultu razinu gravitacijske potencijalne energije. Odabiremo početni i konačni trenutak u kojima ćemo promatrati pretvorbe energije te ćemo doći do zaključaka ako je početni trenutak onaj u kojem je tijelo u najvišem položaju tada ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju u odnosu na najniži položaj gdje smo definirali nultu razinu. Promatrani će sustav činiti kuglica i Zemlja.

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku



Slika 17. Grafički prikaz energije kuglice u početnom trenutku kada je ona u amplitudnom položaju te grafički prikaz energije kuglice u konačnom trenutku kada je ona u ravnotežnom položaju.

## Srednja škola :

U srednjoj ćemo školi produbiti razumijevanje iz osnovne škole. Ovim pokusom možemo postaviti sljedeće pitanje : Kolika je brzina kuglice kada ona prolazi ravnotežnim položajem? Što nam je sve potrebno kako bismo izračunali tu brzinu? Na koji način ćemo upotrijebiti zakon očuvanja energije?

Učenici dolaze do matematičke relacije za pretvorbu energije:

$$E_p = E_k \quad (8)$$

Ova relacija vrijedi zato što smo početnim trenutkom proglasili kada se kuglica nalazi na položaju na visini  $h$  gdje kuglica miruje, dakle ima samo gravitacijsku potencijalnu energije u odnosu na definiranu nultu razinu, dok u ravnotežnom položaju kuglica ima samo kinetičku energiju.

Raspisivanjem relacije (8) dolazimo do sljedećeg izraza :

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \quad (9)$$

Ovisi li brzina kuglice kroz ravnotežni položaj o masi ?

Učenici zaključuju da brzina kuglice ne ovisi o masi budući da se one „pokrate“ u izrazu (9)

Sređivanjem jednadžbe dobivamo brzinu kroz ravnotežni položaj

$$v = \sqrt{2gh} \quad (10)$$

te ovom relacijom vidimo da brzina ovisi samo o početnoj visini  $h$  na kojoj je kuglica mirovala i imala samo gravitacijsku potencijalnu energiju.

Postavljamo sljedeće pitanje: Hoće li kuglica veće mase imati veću, manju ili jednaku brzinu prolaska kroz ravnotežni položaj, ukoliko se u početnom trenutku nalazila na istoj visini  $h$  kao i kuglica manje mase? Zašto?

Učenici zaključuju iz relacija kako će brzina kroz ravnotežni položaj biti neovisna o masi i za istu visinu  $h$  obje kuglice imaju jednaku brzinu prolaska kroz ravnotežni položaj.

Koja će kuglica imati veću gravitacijsku potencijalnu energiju u početnom trenutku, a koja u konačnom trenutku ukoliko se kuglice na početku nalaze na istoj visini?

Kuglica veće mase imati će veću gravitacijsku potencijalnu energiju, na istoj visini  $h$  te shodno tome i veću kinetičku energiju u konačnom trenutku jer energija ovisi o masi, dok brzina nije ovisila o masi kuglica.

Na koji ćemo način postići da kuglice različite mase imaju jednaku gravitacijsku potencijalnu energiju?

Neka je kuglica A manje mase, a kuglica B veće mase. Izmjerimo početnu visinu  $h$  na kojoj se nalazi kuglica A

Gravitacijska potencijalna energija za kuglicu A jednaka je:

$$E_p = m(A)gh(A) \quad (11)$$

Mase obje kuglice prethodno smo izvagali.

Da provjerimo razumijevanja učenika možemo postaviti sljedeći zadatak: Imamo kuglice A i B različitih masa koje trebamo postaviti na početne položaj. Kuglice imaju istu gravitacijsku potencijalnu energiju. Gdje ih treba postaviti? Problem postavljamo relacijom

$$E_p(A) = E_p(B) \quad (12)$$

Iz toga izraza dobivamo sljedeće :

$$h(B) = \frac{m(A)h(A)}{m(B)} \quad (13)$$

Ovaj nam izraz govori na koju visinu bismo trebali postaviti kuglicu B u početnom trenutku kako bi gravitacijske potencijalne energije obje kuglice bile jednake.

Dakle sada kuglice imaju istu potencijalnu energiju. Učenike možemo sad pitati kakav će biti odnos brzina kuglica tijekom prolaska kroz ravnotežni položaj?

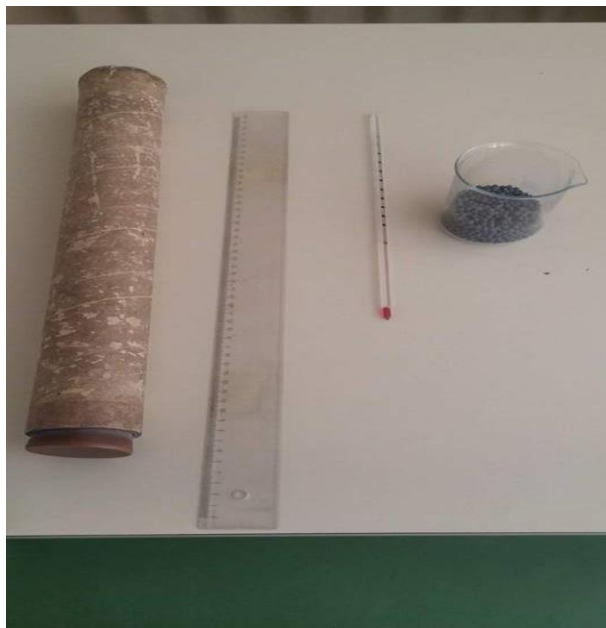
Kao što smo već pokazali u relaciji (10) brzina će ovisiti samo o početnoj visini na kojoj se kuglica nalazi. Budući da samo kuglice postavili na različite visine  $h(A) > h(B)$  ali u početku imaju istu potencijalnu energiju, a time i istu ukupnu energiju, u trenutku prolaska kroz ravnotežni položaj će imati istu kinetičku energiju. Kako je kinetička energija proporcionalna masi i kvadratu brzine, tijelo veće mase imat će manju brzinu.

## Pokus 5. Sačma

**Pribor:** Kartonska cijev, poklopac, ravnalo, sačma ili olovni prah sličnog toplinskog kapaciteta, vaga, termometar, posuda s ledom i vodom

**Eksperimentalni postav:** Olovna sačma specifičnog toplinskog kapaciteta ( $c_v = 130 \text{ J/K kg}$ ) se izvaže te se u čašu sa sačmom stavi termometar (otprilike dvije minute) te očita temperatura. Sačma se stavi u kartonsku cijev začepi se poklopcem stavi u uspravni položaj i naglo okrene naopako. Postupak se ponovi sto puta. Nakon toga se sačma izvadi u čašu te ponovno izmjeri temperatura.

**Pothlađivanje:** Sačma se može prije stavljanja u kartonsku cijev pothladiti za stupanj- dva te ponoviti isti postupak mjerenja.



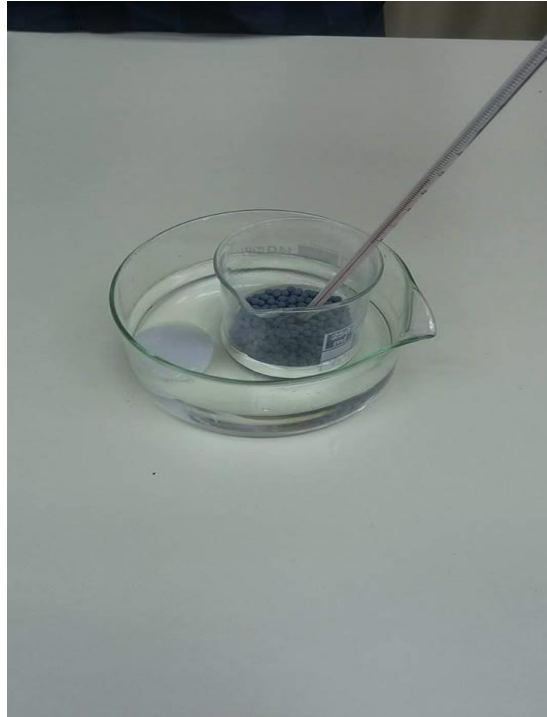
Slika 18. Materijal za izvedbu pokusa 5.



*Slika 19. Mjerenje visine kartonske cijevi te temperature sačme prije izvođenja pokusa*



*Slika 20. Izvođenje pokusa*



*Slika 21. Pothlađivanje sačme*

### **Konceptualna pitanja i primjena eksperimentalne metode:**

#### **Srednja škola :**

Ovaj je pokus primjenjiv za uvođenje prvog zakona termodinamike. Učenici su upoznati sa vrstama energije te oblicima prijenosa energije kao što je opisano u poglavlju 3.3.2.

Koju energiju ima sačma kada je u čaši na stolu? Očekujemo od učenika kako će reći da sačma ima samo unutarnju energiju, jer gravitacijsku potencijalnu energiju možemo definirati proizvoljno, dok kinetičku energiju nema pošto miruje.

Kada mi vršimo rad nad kartonskom cijevi, na račun koje energije odlazi taj izvršeni rad? Očekujemo od učenika kako će reći da povećavamo gravitacijsku potencijalnu energiju sačme jer smo ju podigli na neku visinu  $h$ . Koje se pretvorbe energije potom događaju? Kada sačma dođe do najviše točke i miruje ima samo gravitacijsku potencijalnu energiju, ali potom počne padati i ima kinetičku energiju. Dolazi li još do neke pretvorbe energije u tom slučaju? Koju promjenu možemo opaziti, a da ista govori o promjeni još neke energije?

Učenike treba usmjeriti na razmišljanje o tome da je došlo do pretvorbe energije. Pomicanjem kartonske cijevi izveden je rad koji se prenio na sačmu i pretvorio u toplinu. Dakle pokus direktno povezuje mehanički rad sa toplinom. Precizniji prikaz pretvorbe energije možemo dati ovako:

$W$  (rad naše ruke na cijev)  $\rightarrow E_p$  (gravitacijska potencijalna energija sačme)  $\rightarrow E_k$  (kinetička energija sačme)  $Q$  (toplina proizvedena trenjem)  $\rightarrow \Delta U$  (povećanje unutarnje energije)

Radni listić:

1) Za koliko se promijenila unutarnja energija sačme?

Do promjene unutrašnje energije tijela prema 1. zakonu termodinamike dolazi zbog izmjene topline i rada. U ovom slučaju možemo proračunati dio promjene unutrašnje energije koji se odnosi na dovođenje topline pretvorbom energije. Učenici su izvagali masu sačme te poznaju specifični toplinski kapacitet sačme. Izmjerali su početnu temperaturu sačme  $T_p$  i konačnu temperaturu  $T_k$ . Promjena temperature dana je izrazom:

$$\Delta T = T_k - T_p$$

Toplina predana sačmi može se proračunati relacijom

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (14)$$

Stoga možemo reći da je unutrašnja energija povećana najmanje za taj iznos.

2) Koliki je rad koji ste obavili prilikom okretanja cijevi da bi sačmu premjestili gore dolje?

Rad koji je izvršen nad sačmom jednak je promjeni gravitacijske potencijalne energije sačme. Pošto smo izvagali sačmu, potrebno je izračunati samo visinu kartonske cijevi  $h$  da možemo odrediti izvršeni rad

$$W = m \cdot g \cdot h \quad (15)$$

gdje je  $m$  masa sačme, a  $h$  visina kartonske cijevi. Pošto je eksperiment bio ponavljan sto puta, dobiveni rezultat je potrebno pomnožiti sa sto.

3) Usporedite promjenu unutarnje energije sačme i rad izvršen nad sačmom. Komentirajte rezultate.

Očekivali bismo kako je promjena unutarnje energije sačme jednaka radu koji smo izvršili nad sačmom. Pošto su iznosi različiti odnosno promjena unutarnje energije sačme je manja nego što je izvršen rad nad sačmom zaključujemo da imamo „gubitke“ energije. Postavlja se pitanje odakle ti gubici energije? Do gubitka energije, odnosno odlaska iz sustava dolazi zato što nije izoliran od okoline. Toplinska energija sačme se dijelom prenijela na cijev ili

zrak. Sačma je dirala rubove kartonske cijevi te se dio energije trenjem predao samoj cijevi u obliku topline (zagrijavanja cijevi).

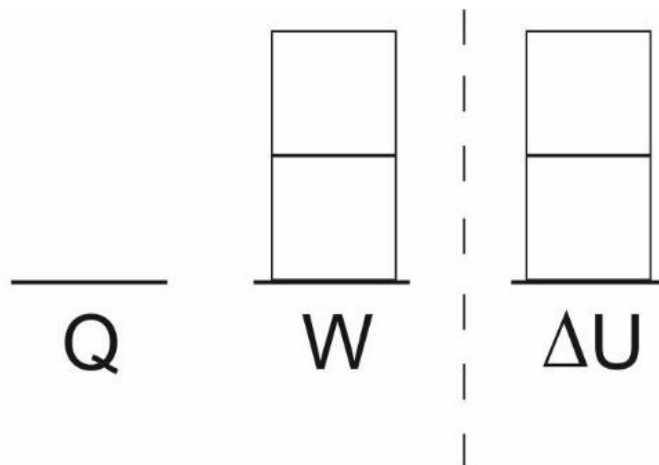
4) Na koji bismo način utjecati na izmjenu energije sačme i kartonske cijevi? Učenici iznose svoje ideje.

Jedan mogući odgovor na ovo pitanje jest pothlađivanje. Sačmu prije stavljanja u kartonsku cijev pothladimo u ledenoj kupelji kako bi joj se temperatura spustila za oko dva stupnja u odnosu na sobnu temperaturu. Što time postizemo? Ponavljamo pokus te provjeravamo na koji način je pothlađivanje utjecalo na promjenu unutarnje energije sačme.

Eksperimentalni rezultati kod pothlađivanja daju približno jednake vrijednosti promjene unutarnje energije sačme i rada koji je izvršen nad sačmom. Koji je razlog tome?

U prvih pedeset okretaja sačma je uzima energiju u obliku topline jer je bila na nižoj temperaturi od kartonske cijevi. U drugih je pak pedeset okretaja sačma predavala svoju energiju u obliku topline kartonskoj cijevi. Što možemo zaključiti ovim pokusom? Na koji način možemo promijeniti unutarnju energiju nekom tijelu?

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku



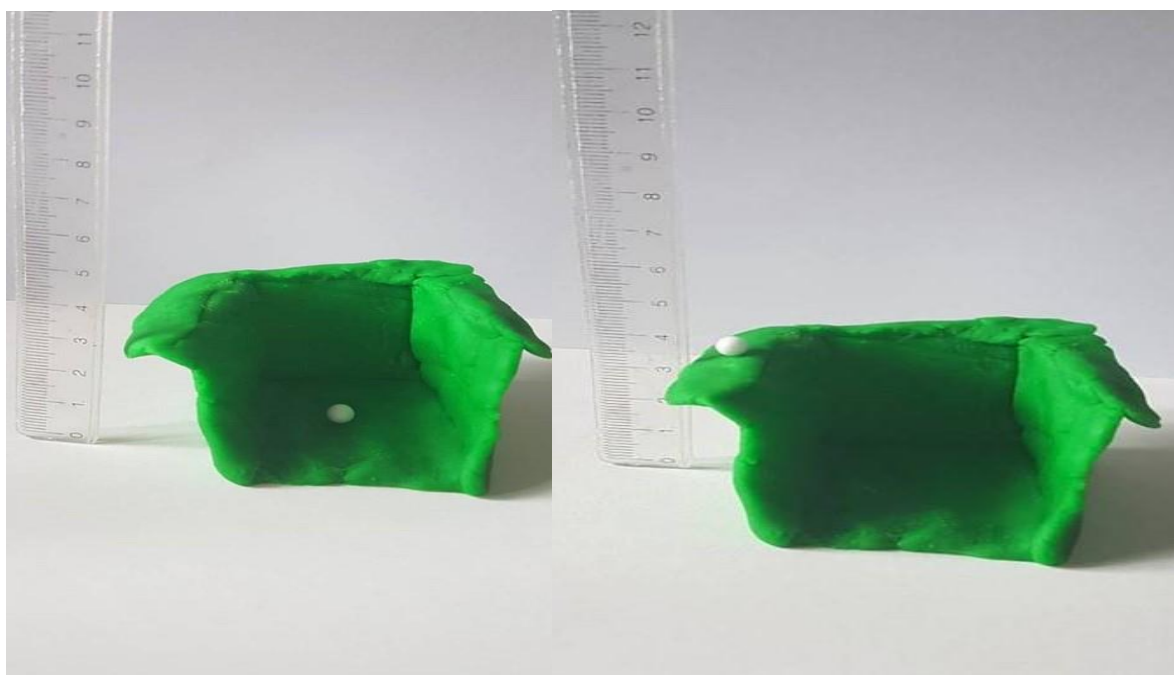
Slika 22. Prikaz mehaničkog rada izvršenog nad sačmom uz prikaz promjene unutarnje energije sačme zbog vršenja rada nad njom.

## Pokus 6. Model fotoelektričnog efekta

**Pribor:** Plastelin, kuglica, ravnalo.



**Eksperimentalni postav:** U pokusu konceptualno prikazujemo promjenu energije elektrona koji se oslobađa fotoelektričnim efektom. Plastelinom modeliramo potencijalnu jamu kao na slici u kojoj određena pozicija elektrona (bijela kuglica) definirana visinom u odnosu na dno jame predstavlja potencijalnu energiju. Nulu energije (slobodni elektron) definiramo na vrhu jame, dok je energija kako se spuštamo u jamu negativna (vezano stanje elektrona). Visinu mjerimo ravnalom.



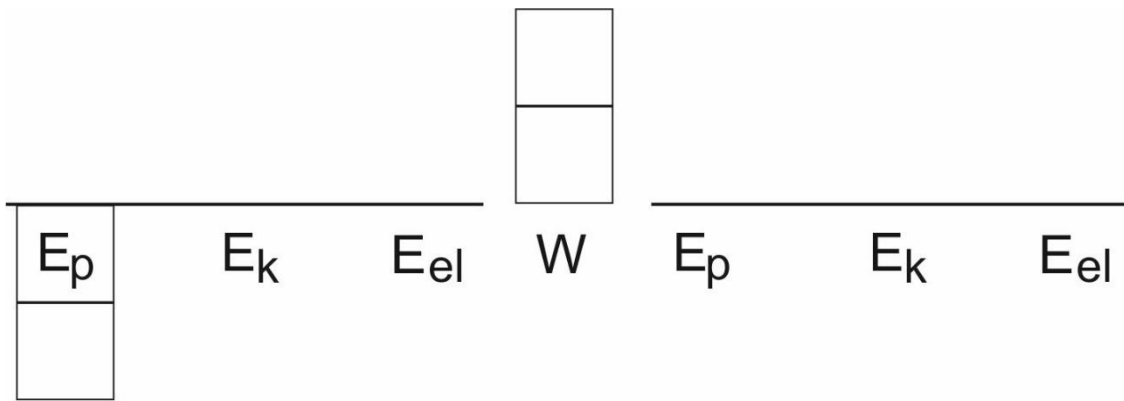
*Slika 23. Model vezanog elektrona u metalu.*

### **Konceptualna pitanja i primjena eksperimentalne metode:**

#### **Srednja škola:**

Pretpostavimo da se elektron (kuglica) nalazi u potencijalnoj jami kao što je prikazano na slici 23. Ukoliko nultu razinu gravitacijske potencijalne energije definiramo na vrhu te jame, zanima nas energija koju elektron ima na dnu jame? U analogiji našeg jednostavnog modela, gravitacijska potencijalna energija koju kuglica ima u modelu je negativna i predstavlja potencijalnu energiju elektrona u metalu, a koja je posljedica primarno električnih interakcija elektrona s atomskim jezgrama i drugim elektronima. Kako bismo elektron (kuglicu) izbacili iz jame potrebno je uložiti rad na kuglicu koji je iznosom jednak promjeni potencijalne energije.

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku



Slika 24. Prikaz energije kuglice u početnom trenutku te prikaz rada koji je potrebno izvršiti nad kuglicom kako bi ona u konačnom trenutku bila izvan jame.

Zašto nam je bitan ovaj model?

Fotoelektrični efekt je pojava koja nam ukazuje kako ponekad metali koji su obasjani svjetlošću mogu emitirati elektrone. Prema klasičnoj fizici koja svjetlost tumači kao val, povećanje intenziteta svjetlosti daje porast energije slobodnim elektronima u metalu pa bi oni uz dovoljan intenzitet trebali izletjeti iz metala, međutim to se ne događa. Einstein je objasnio taj efekt na način da iz monokromatskog izvora izlaze kvanti („čestice“) svjetlosti koji se nazivaju fotoni. Fotoni imaju energiju :

$$E = h \cdot f \quad (17)$$

$h$  -Planckova konstanta

$f$  -frekvencija upadne svjetlosti

Iz navedenog izraza možemo zaključiti kako se energija fotona povećava sa frekvencijom upadnog zračenja. Foton nema masu te se u vakuumu giba brzinom svjetlosti. Količina gibanja fotona dana je relacijom:

$$p = h \cdot \frac{c}{f} \quad (18)$$

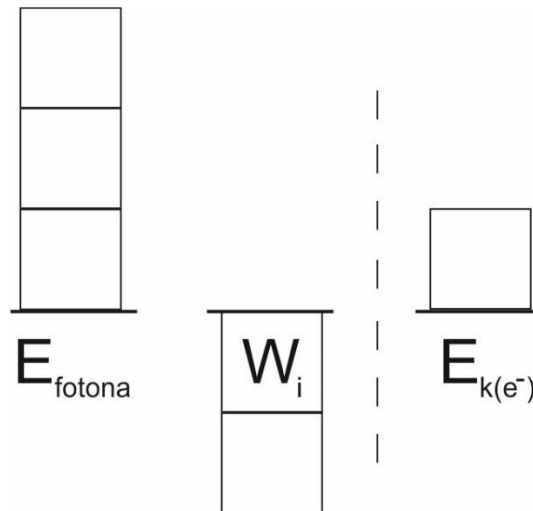
$c$  -brzina svjetlosti

Promatrati ćemo interakciju između fotona i elektrona.

Ukoliko foton ima veću ili jednaku energiju od izlaznog rada metala ( $W_i$  na slici 26.) odnosno potencijalne energije kojom je elektron vezan u metalu, dolazi do izbacivanja elektrona. Ukoliko je energija fotona veća od izlaznog rada ostatak energije se pretvara u kinetičku energiju izbačenog elektrona.

$$E_k = h \cdot f - W_i \quad (19)$$

Stupčasti dijagram energije u početnom i konačnom trenutku



Slika 25. Prikaz energije fotona i izlaznog rada u metalu prije interakcije fotona i elektrona te ,prikaz energije nakon fotoelektričnog efekta u konačnom trenutku. U slučaju da je energija fotona manja od izlaznog rada, ne dolazi do emisije.

## Zaključak

Suvremeno obrazovanje zbog brzih tehnoloških i drugih promjena zahtijeva promjene kurikuluma i metoda izvođenja nastave. Središnja komponenta tih promjena je nastavnik koji treba implementirati nove metode poput istraživačke ili projektne nastave, koje pobuđuju veći interes učenika kako za istraživanje i učenje tijekom nastave tako i poticajno na individualni razvoj. Pri tome je nužna edukacija nastavnika uz dostupnost pratećih nastavnih priručnika i materijala. U nastavi fizike najvažniji alat u tom smjeru je demonstracijski pokus, koji se često može osmisliti s minimalnim sredstvima a imati značajan učinak na znanje učenika. U ovom radu dan je niz primjera pokusa vezanih uz temu izmjena energije. Kao što je prikazano u radu, iako se radi o jednostavnim pokusima, njima se mogu dotaknuti brojna pitanja i koncepti.

*„ Dotičem budućnost, poučavam. “*

## Literatura

1. Van Heuvelen, A. & Zou, X. (2001). Multiple representations of work-energy processes, *Am. J. Phys.* 69 (2), 184.
2. Van Heuvelen, A. (1991). Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies. *Am. J. Phys.* 59, 891.
3. Sherwood, B. A. & Bernard, W. H. (1984). Work and heat transfer in the presence of sliding friction. *Am. J. Phys.* 52 (11), 1001.
4. Chabay, R. W. & Sherwood, B. A. (2002). *Matter & Interactions 1: Modern Mechanics*, Wiley:New York.
5. Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.* 66, 64 – 74.
6. Meltzer, D. E. & Manivannan, K. (2002). Transforming the lecture hall environment: The fully interactive physics lecture. *Am. J. Phys.* 70(6), 639-653.
7. Problemi u nastavi fizike, <http://studenti.rs/skripte/fizika/interaktivni-pristup-u-nastavi-fizike/>, Prirodoslovno-matematički fakultet, Novi Sad (24.072017.)
8. Carl J. Wenning (2012.) Levels of inquiry: Using inquiry spectrum learning sequences to teach science 11-19
9. Carl J. Wenning (2005.) Levels of inquiry : Hierarchies od pedagogical practices and inquiry processes (3-11)
10. Cutnell, J. D., Johnson, K.: *Physics – 8th edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2009.
11. N. Brković, P. Pećina: *Fizika u 24 lekcije*, Element, Zagreb, 2013.