

# Kinestetički pokusi u nastavi fizike i astronomije

---

**Blečić, Maša**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka / Sveučilište u Rijeci**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:194:510722>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-27**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Physics - PHYRI Repository](#)



Sveučilište u Rijeci  
Odjel za fiziku

Maša Blečić

**KINESTETIČKI POKUSI U NASTAVI FIZIKE I  
ASTRONOMIJE**

Diplomska radnja

Rijeka, 2020.

Sveučilište u Rijeci

Odjel za fiziku

**KINESTETIČKI POKUSI U NASTAVI FIZIKE I  
ASTRONOMIJE**

Diplomska radnja

**Studij:** Diplomski studij Fizika i matematika

**Mentorica:** doc. dr. sc. Ivana Poljančić Beljan

**Komentorica:** prof. dr. sc. Rajka Jurdana-Šepić

**Studentica:** Maša Blečić

Rijeka, 2020.

## SAŽETAK

Načini poučavanja, tj. oblici nastave mijenjali su se kroz povijest. U današnje doba prisutna je tzv. suvremena škola, koju prvenstveno karakterizira usmjerenost nastave ka učeniku. Drugim riječima, proces učenja više nije pasivan, već je on proces aktivne interakcije učenika s okolinom. Takva je interakcija vrlo važna, s obzirom da djeca, osim procesom formalne edukacije, stvaraju osobne koncepte percipiranjem pojava neposrednim iskustvom. Aktivnim sudjelovanjem učenika u nastavi potiče se njihova prirodno urođena znatiželja, a samim time i motivacija za daljnji rad i sudjelovanje u nastavi. Budući da ne uče sva djeca na jednaki način, dolazi do potrebe korištenja različitih nastavnih strategija i metoda. Jedna od metoda kojom se nastoji povezati formalna edukacija s izravnim iskustvom učenika je primjena kinestetičkih aktivnosti u nastavi. Kinestetičke aktivnosti općenito možemo opisati kao sve aktivnosti koje uključuju tjelesne aktivnosti učenika. U ovome radu bit će detaljnije opisana važnost razvoja tjelesno-kinestetičke inteligencije kod učenika te će biti dani primjeri kinestetičkih pokusa u nastavi fizike, koji su, za potrebe ovog rada, izvođeni s učenicima različitih uzrasta. Uz svaki pokus, dane su metodičke napomene koje su proizašle iz zaključaka nakon izvođenja pojedinih pokusa. Glavni cilj ovoga rada bio je približiti kinestetičke pokuse nastavnicima fizike, ukazati na važnost njihove primjene te im dati ideje za implementaciju istih u nastavu.

**KLJUČNE RIJEČI:** kinestetički pokusi, tjelesno-kinestetička inteligencija, aktivno učenje

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Nastava i učenje .....	2
2.1.	Osnovni čimbenici nastave.....	2
2.2.	Aktivno učenje .....	3
2.3.	Teorija višestrukih inteligencija .....	4
3.	Pokusi u nastavi fizike .....	7
3.1.	Pravila demonstracije pokusa.....	9
4.	Kinestetički pokusi.....	11
4.1.	Primjeri kinestetičkih pokusa u nastavi fizike.....	13
4.1.1.	Longitudinalni i transverzalni val .....	14
4.1.2.	Kristalna rešetka.....	18
4.1.3.	Kinetičko-molekulska teorija plinova.....	22
4.1.4.	Električna struja u metalima i elektrolitima.....	26
4.1.5.	Električni otpor .....	32
4.1.6.	Strujni krug .....	37
4.2.	Primjeri kinestetičkih pokusa u nastavi astronomije.....	40
4.2.1.	Rotacija i revolucija Zemlje.....	40
4.2.2.	Ljeto i zima .....	46
5.	Zaključak.....	49
6.	Literatura.....	50
7.	Popis slika .....	53

## 1. Uvod

U današnje doba, sve se više naglašava važnost tjelesne aktivnosti u razvoju pojedinca. U školama se tradicionalno tjelesna aktivnost povezuje samo s predmetom *Tjelesna i zdravstvena kultura*, ali kako bi se povećala svijest o važnosti tjelesne aktivnosti, poželjno je da se neki oblici tjelesne aktivnosti uključe i u ostale nastavne predmete.

Cilj ovog rada je upoznavanje nastavnika s kinestetičkim pokusima koji se mogu uključiti u nastavu fizike i astronomije. U radu su predstavljene pokusi koji nisu vremenski zahtjevni te ne zahtijevaju skupa dodatna sredstva, dapače, većina ih je namijenjena za izvođenje bez ikakvih dodatnih sredstava. Također, kroz rad su dane poveznice na nekoliko video isječaka izvedenih kinestetičkih pokusa sa učenicima.

U sljedećem poglavlju navedene su prednosti aktivnog sudjelovanja učenika u nastavi te je predstavljena Gardnerova teorija višestrukih inteligencija.

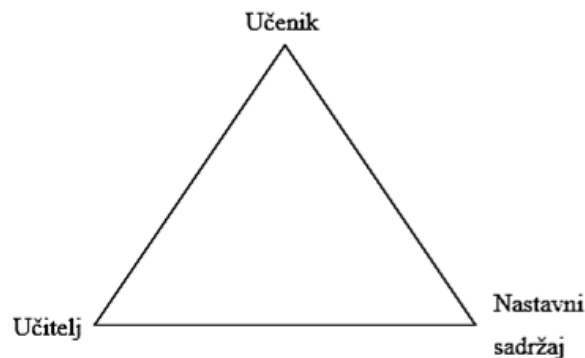
U trećem poglavlju objašnjene su važnosti korištenja pokusa u nastavi fizike, pojašnjene su razlike između pojedinih vrsta pokusa te su dana pravila demonstriranja pokusa kojih se treba držati kako bi pokus bio uspješan.

U četvrtom poglavlju detaljno su razrađeni primjeri odabranih kinestetičkih pokusa iz fizike i astronomije te su dani prijedlozi (metodičke napomene) za njihovo unaprjeđenje. U ovom se poglavlju nalazi i nekoliko QR kodova. Njihovim skeniranjem pomoću QR čitača na pametnom telefonu, čitatelju se otvara poveznica na video isječak u kojem je prikazan kinestetički pokus o kojem je u tom dijelu riječ.

## 2. Nastava i učenje

### 2.1. Osnovni čimbenici nastave

Nastava je jedan od temeljnih didaktičnih pojmova. Ona obuhvaća proces poučavanja i učenja, a Bognar i Matijević ju definiraju kao ciljanu i zajedničku aktivnost učenika i učitelja. <sup>[1]</sup> Učitelj, učenik i nastavni sadržaj su glavni čimbenici nastave i možemo ih prikazati pomoću didaktičkog trokuta (Slika 2.1.).<sup>[2]</sup>



Slika 2.1. Didaktički trokut

Odnos između glavnih čimbenika nastave mijenjao se kroz povijest. U razdoblju tzv. stare škole učitelja se smatralo temeljnim subjektom nastave, a učenici su bili objekti odgojno-obrazovnog procesa. Uloga učitelja u staroj školi je prenošenje znanja i iskustva na učenike, metodom koja njemu najviše odgovara, stoga je najčešći oblik rada bio frontalni. Komunikacija u takvoj nastavi je jednosmjerna. Od učenika se ne očekuje aktivno sudjelovanje na nastavi već samo usvajanje činjeničnog znanja i njegova reprodukcija. Ovakva nastava još se naziva i nastavom usmjerenom učitelju.<sup>[3]</sup>

U današnje doba, prisutna je tzv. suvremena škola, čije je glavno obilježje usmjerenost nastave učeniku. U suvremenoj školi su i učenik i učitelj subjekti nastave, a učenici u suradnji s učiteljem aktivno konstruiraju svoje znanje. Komunikacija u takvoj nastavi je dvosmjerna, učitelj organizira aktivnosti namijenjene učeniku, a učenik uči provodeći te aktivnosti. Za razliku od nastave usmjerene učitelju, kod ovog oblika nastave naglasak je stavljen na grupni oblik rada, aktivnosti u paru te na individualnom obliku rada. U nastavi usmjerenom učeniku, jednako je važan proces učenja kao i rezultat učenja, a ishodi učenja se odnose na afektivne, kognitivne i psihomotoričke ciljeve.<sup>[3]</sup>

## 2.2. Aktivno učenje

Učenje se definira kao proces kojim pojedinac postiže relativno trajnu promjenu svog ponašanja, a poučavanje predstavlja plansku upotrebu nastavnih metoda kako bi učenici usvojili nova znanja i vještine. Preduvjet za uspješno učenje i poučavanje je učenička aktivnost, jer, prema konstruktivističkoj teoriji, znanje ne može biti preneseno već mora biti konstruirano.<sup>[4]</sup>

Konstruktivizam kao didaktička i psihološka teorija učenja ističe da je učenje aktivan, a ne pasivan proces, tj. da je ono proces aktivne interakcije s fizičkom okolinom. Matijević i Topolovčan su konstruktivističko učenje definirali kao „unutarnje stvaranje spoznaje, razumijevanja, značenja i pamćenja s pomoću aktivne interakcije s okolinom.“<sup>[3]</sup>

Neke od osnovnih pretpostavki konstruktivističkog učenja, prema <sup>[5]</sup> su:

- 1) učenje je aktivan proces,
- 2) učenje je situacijsko i kontekstualno,
- 3) znanje nije pasivno prenijeto i primljeno, već aktivno konstruirano od strane onoga koji uči,
- 4) iskustvo i prijašnja razumijevanja su ključna za učenje,
- 5) bitna je društvena interakcija.

Bilo koja vrsta učenja podrazumijeva učeničku aktivnost, ali aktivno učenje, u užem smislu, možemo definirati kao učenje koje omogućava učenicima primjenu različitih mentalnih strategija i specifičnih kognitivnih vještina. Tako učenici mogu razlikovati važne i nevažne informacije, analizirati, uspoređivati i konstruirati nova znanja o prethodnim iskustvima te kritički razmišljati. Iz svega navedenog možemo primijetiti da aktivno učenje omogućuje dugotrajno zadržavanje informacija.<sup>[4]</sup>

Kyriacou <sup>[6]</sup> navodi da bi aktivno učenje trebalo biti češće prisutno u učionicama jer učenici od njega imaju brojne koristi. Osim razvijanja raznih vještina, aktivno učenje ima značajnu ulogu u motivaciji učenika jer povezuje učenje rješavanjem problema s urođenom znatiželjnošću svakog djeteta. Također, metode aktivnog učenja čine školu sličnijom stvarnom životu.



Neke od metoda aktivnog učenja koje su primjerene u nastavi prirodoslovlja su demonstracije (objašnjenje s pokazivanjem), diskusije (zauzimanje osobnih stavova), mentorsko vođeno učenje (učenik prema nizu zadanih uputa, uz vođenje učitelja, ostvaruje cilj), simulacije (simuliranje stvarnog ili zamišljenog događaja) i igre uloga (simulacija određenih uloga, eng. *role play*).<sup>[7]</sup>

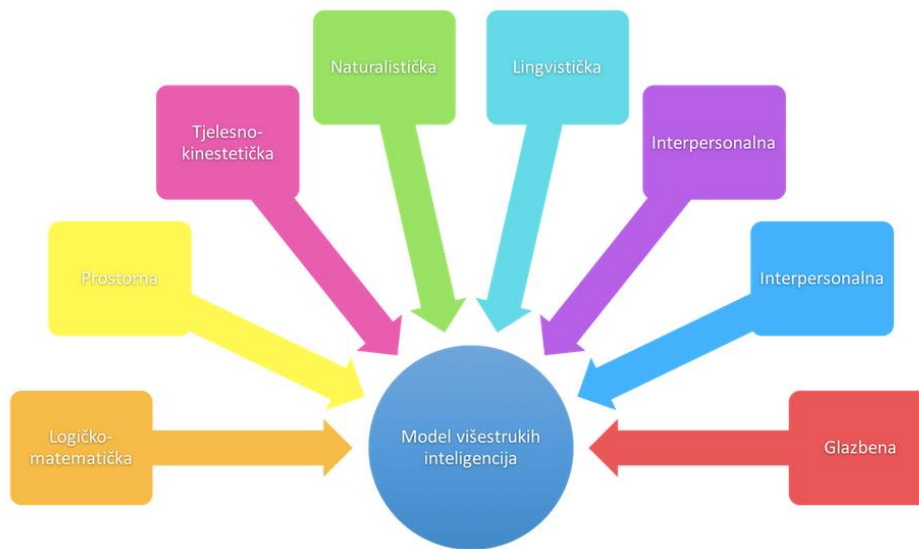
U nastavku ovoga rada bit će prikazane neke ideje implementacije igre uloga u nastavi fizike.

### **2.3. Teorija višestrukih inteligencija**

Pojam inteligencije nije jednoznačno određen i postoji mnogo teorija i definicija koje ga pokušavaju pojasniti, ali inteligencija se najčešće definira kao sposobnost uspješnog snalaženja u novim situacijama. Inteligencija se nastoji mjeriti standardiziranim testovima inteligencije, a „mjerna jedinica“ inteligencije je kvocijent inteligencije (IQ).<sup>[8]</sup>

Gotovo osamdesetak godina nakon pojave prvih testova inteligencije, Howard Gardner izlaže teoriju višestrukih inteligencija. Gardner je tvrdio da se pojam inteligencije shvaća preusko i da se testovima inteligencije ne mogu mjeriti svi oblici inteligencije. On je predložio postojanje 7 inteligencija, a danas ih poznajemo osam.<sup>[8], [9]</sup>

- 1) lingvistička,
- 2) logičko – matematička,
- 3) prostorna,
- 4) glazbena,
- 5) tjelesno – kinestetička,
- 6) intrapersonalna,
- 7) interpersonalna,
- 8) naturalistička.



Slika 2.2. Teorija višestrukih inteligencija

Lingvistička inteligencija odnosi se na sposobnost vještog korištenja riječi u pismu i u govoru. Iznimno razvijenu lingvističku inteligenciju imaju pjesnici, novinari, govornici, političari i odvjetnici.

Logičko – matematička inteligencija se odnosi na sposobnost vještog korištenja brojeva te logičkog rasuđivanja. Ona nam omogućuje uočavanje logičke strukture te uzročno – posljedičnih veza. Logičko – matematička inteligencija iznimno je korisna matematičarima, računovođama, programerima, znanstvenicima i u brojnim drugim zanimanjima.

Prostorna inteligencija je sposobnost opažanja vizualnih i prostornih informacija te oblikovanje tih informacija. Također, prostorna inteligencija uključuje sposobnost vizualizacije i orijentacije u prostoru. Ova je inteligencija izražena kod arhitekata, dizajnera, geografa te drugih zanimanja.

Glazbena inteligencija je izražena kod skladatelja, dirigenta i glazbenika, a odnosi se na lakoću u obradi glazbenih elemenata: ritma, visine tona, boje tona itd.

Tjelesno-kinestetička inteligencija uključuje sposobnost korištenja ruku ili cijelog tijela u izradi i oblikovanju stvari te u izražavanju osjećaja. Ona uključuje i sposobnost koordinacije, okretnosti, fleksibilnosti, brzine, ravnoteže te kontrola finih i složenih pokreta. Ovu vrstu inteligencije najviše vidimo izraženu kod sportaša, plesača, kipara, glumaca, mehaničara itd.

Intrapersonalna inteligencija uključuje sposobnost razumijevanja vlastitih osjećaja, svijest o vlastitom raspoloženju, sposobnost samopoštovanja te samodiscipline.

Interpersonalna inteligencija omogućuje razumijevanje tuđih osjećaja, misli te prepoznavanja neverbalnih znakova.

Naturalistička inteligencija obuhvaća sposobnost prepoznavanja i klasificiranja različitih vrsta biljnog i životinjskog svijeta.<sup>[8], [9]</sup>

Uvođenjem 8 vrsta inteligencije, dolazi do preispitivanja valjanosti i vrijednosti testova inteligencije, odnosno IQ testova te kvocijenta inteligencije. „Uobičajeni“ testovi inteligencije pokrivaju samo dvije vrste inteligencija, lingvističku i matematičko – logičku, tako da oni mogu samo procijeniti jesu li ispitanici ispod prosjeka, prosječni ili iznad prosjeka u tih dvjema inteligencijama. Gardner smatra da većina ljudi može razviti svaku inteligenciju do zadovoljavajuće razine, samo je potrebno raditi na njihovom razvoju, u čemu škola ima veliku ulogu.<sup>[9]</sup>

Djeca mogu učiti na različite načine, različitom brzinom i zbog različitih razloga. Djeca imaju različite sklonosti unutar navedenih inteligencija te posljedično uče različitom brzinom i na različite načine. Upravo zbog različitosti pojedinaca, odnosno načela individualizacije procesa poučavanja i učenja, poželjno je koristiti čim širi spektar nastavnih strategija i metoda. Nažalost, većina nastavnika u našem školstvu i dalje koristi tradicionalne metode koje stavljaju naglasak na razvoj lingvističke i matematičko – logičke inteligencije.<sup>[10]</sup>

U tradicionalnom školstvu se razvoj pojedinih inteligencija veže samo uz neke nastavne predmete, npr. glazbena inteligencija se razvija samo na glazbenoj kulturi, tjelesno – kinestetička se razvija samo na tjelesnom i zdravstvenom odgoju. Međutim, kako bi učenici uspjeli svih osam inteligencija razviti do optimalne razine, potrebno je u sve nastavne predmete uključiti aktivnosti koje potiču razvoj nekoliko inteligencija odjednom. Razvoj višestrukih inteligencija kod učenika zahtijeva veći trud nastavnika kako bi osmislio različite aktivnosti i upravo iz tog razloga, ne shvaćajući važnost razvoja svih inteligencija kod učenika, brojni nastavnici odustaju od tog zadatka.

U ovome radu detaljnije je opisana važnost razvoja tjelesno – kinestetičke inteligencije te su dani primjeri kinestetičkih aktivnosti u nastavi fizike.

### 3. Pokusi u nastavi fizike

Fizika je znanost o prirodi, prirodnim pojavama, procesima i zakonitostima. Kako bi učenici bolje razumjeli i kritički promišljali o nekom pojavi, poželjno je napraviti pokus koji će navesti učenike da uoče, a zatim i interpretiraju ono što je za tu pojavu karakteristično. Pokus je proces izazivanja neke prirodne pojave radi opažanja, istraživanja, razumijevanja te radi potvrde postavljene teorije. S obzirom na njegovu važnu ulogu, smatra se jednom od temeljnih nastavnih metoda u nastavi prirodoslovlja.<sup>[7]</sup> Osim što učenicima pomažu u usvajanju novih znanja, razvijanju intelektualnih sposobnosti te razvijanju logičkog mišljenja, pokusi čine nastavu fizike zanimljivijom i povećavaju motivaciju učenika.

Postoji nekoliko podjela pokusa, a Krsnik<sup>[11]</sup> prema načinu izvođenja pokuse dijeli na:

- frontalni eksperiment u učionici (demonstracijski pokus),
- učenički eksperiment u učionici ,
- kućni eksperiment,
- praktički eksperiment (laboratorijski pokus),
- projekti koji uključuju eksperimentalni rad.

Važno je napomenuti da ovo nije jedini način podjele pokusa i da se pojedini pokusi mogu svrstati u nekoliko kategorija. Najučinkovitiji i najčešći eksperimenti, pogotovo u osnovnim školama su oni koji se izvode u učionicama prilikom obrade nastavnog sadržaja. Pokuse koji se izvode u školi, na nastavi, možemo pojednostavljeno podijeliti na demonstracijske pokuse i laboratorijske pokuse.

Demonstracijske pokuse izvodi nastavnik, ali može i učenik uz vodstvo nastavnika, u svrhu provjeravanja istinitosti postavljenih hipoteza ili jednostavno radi proučavanja pojedine fizičke pojave. Ovisno o tome koja je njihova svrha, demonstracijski pokusi mogu biti:

- **uvodni** - imaju za cilj motivirati učenike te se najčešće izvode u uvodnom dijelu sata,
- **istraživački** – pokus kojim se opažanjem i mjerenjem dolazi do fizičkih zakona; imitacija je metode znanstveno-istraživačkog rada,
- **ilustrativni** – ima za cilj ovjeravanje već usvojene zakonitosti te se najčešće izvodi u završnom dijelu sata,
- **kritični** – svaki pokus koji uključuje uvođenje novog (kritičnog) pojma ili koncepta.

Laboratorijske pokuse izvode učenici samostalno, obično podijeljeni u grupe. Sve grupe dobivaju jednaki pribor potreban za izvođenje pokusa te detaljne pisane upute pa izvode isti pokus, a broj grupa ovisi o količini pribora kojeg imaju na raspolaganju. Za razliku od demonstracijskog pokusa, čija je svrha samo opažanje neke pojave, kod laboratorijskih pokusa se od učenika očekuje da samostalno obave mjerenja, zapišu ih tablično, grafički prikažu (ukoliko to znaju s obzirom na stupanj obrazovanja), a potom iznesu svoja opažanja i kroz diskusiju s nastavnikom dođu do zaključaka. Cijeli proces nadgleda i usmjerava nastavnik. Učenicima se sviđa ovaj način eksperimenta jer su aktivno uključeni u cijeli proces i „samostalno“ dolaze do „otkrića“. Tako se kod učenika potiče znanstveni način razmišljanja te dugoročnije pamćenje informacija, kao i lakše povezivanje usvojenih fizičkih pojmova u složenije strukture kao što su fizički koncepti.

Nažalost, brojne škole u Hrvatskoj nisu dovoljno dobro opremljene za često izvođenje učeničkih laboratorijskih eksperimenata, stoga učitelji većinom izvode demonstracijske pokuse bez uključivanja učenika, čime učenici postaju pasivni promatrači. Istraživanja su pokazala da demonstracijski pokusi daju značajno bolje rezultate ako se učenici uključe u njihovo izvođenje i ako se izvode držeći se dogovorenih pravila, odnosno kada ti pokusi slijede znanstvene postupke: postavljanje hipoteze, rasprava o postavljenoj hipotezi, izvođenje pokusa, rasprava o pokusu, zaključak. <sup>[12]</sup>

Suvremena nastava nastoji aktivno uključiti učenika u nastavni proces, a jedan od načina na kojeg se to može učiniti je učenike potaknuti da samostalno istražuju, dok je nastavnik samo pomagač koji ih usmjerava. Učenička istraživanja mogu se provesti prilikom izvođenja i laboratorijskih i demonstracijskih pokusima, a svako učeničko istraživanje vrlo je slično „klasičnom“ znanstvenom istraživanju. To znači da se mora sastojati od određenih koraka, a to su:

- uočavanje i definiranje problema,
- postavljanje hipoteza,
- određivanje metoda istraživanja,
- prikupljanje podataka pokusom,
- analiziranje podataka i uočavanje zakonitosti na temelju rezultata dobivenih pokusom ili promatranjem,
- objašnjavanje rezultata pokusa te zaključci o točnosti postavljene hipoteze. <sup>[35]</sup>

Aktivno uključivanje učenika u nastavu potiče učenike na kritičko razmišljanje i na stvaranje novih ideja, što je u današnjem svijetu vrlo poželjno, s čim se složio i poznati psiholog Jean Piaget koji je rekao: „Glavni cilj odgoja u školama bi trebao biti stvaranje generacija koje su sposobne raditi nove stvari, a ne samo ponavljati ono što su druge generacije učinile.“.

### **3.1. Pravila demonstracije pokusa**

Prilikom izvođenja pokusa, treba poštivati sljedeća pravila kako bi pokus bio efikasniji i kako bi se njime mogao ostvariti zadani cilj <sup>[13]</sup>:

#### **1. Artikuliranje cilja**

Učitelj mora, prije izvođenja pokusa, odrediti koji je cilj tog pokusa i što će učenici njegovim izvođenjem usvojiti.

#### **2. Priprema uvjeta**

Učitelj mora pokus izvoditi tako da svi učenici vide što se pokazuje, poželjno je da nastavna sredstva budu većih dimenzija ili da se učenici okupe oko stola na kojem se izvodi pokus. Ukoliko nastavnik smatra da neće svima pokus biti jednako vidljiv, nastavnik može prije sata sam izvesti pokus i snimiti ga, a zatim ga učenicima prikazati pomoću projektor. Također, prilikom učeničkog izvođenja laboratorijskih pokusa, potrebno je osigurati dovoljno pribora kako bi se cijeli razred mogao uključiti.

#### **3. Znanstvena ispravnost**

Vrlo je važno pripaziti na znanstvenu ispravnost, odnosno na točnost iznesenih činjenica.

Prilikom izvođenja pokusa ne mogu se uvijek koristiti svi fizički pojmovi koji opisuju neku pojavu, zbog uzrasta djece i prethodno stečenih znanja. Tada se mora koristiti određeni stupanj didaktičkog pojednostavljenja, koji je najčešće dan u predviđenim udžbenicima.

#### **4. Vođenje pokusa dijalogom i raspravom**

Demonstracija pokusa ne bi trebala biti monolog učitelja, već bi trebala aktivno uključiti učenike. Nastavnik postavljajući pitanja navodi učenike da dođu do željenog zaključka.

Prije demonstracije, potrebno je najaviti učenicima koji je cilj tog pokusa te od učenika zatražiti da iznesu svoja očekivanja. Krsnik u svojoj knjizi „Suvremene metode u nastavi fizike“ ovo zgodno opisuje: „U eksperiment (pokus) istraživač ne ulazi kao *tabula rasa* već ulazi s nekom manje ili više definiranom idejom, dobivenom predviđanjem na temelju već postojećeg znanstvenog znanja, ponajprije znanstvenih teorija.“ [11, str.129.].

Nakon demonstracije potrebno je pitati učenike što su uočili, jesu li se ostvarila njihova očekivanja te pitanjima i potpitanjima navesti učenike da dođu do željenog zaključka. Ispravne zaključke učenici bi trebali zapisati u bilježnice svojim riječima, a učitelj pritom mora voditi računa da su ti zaključci znanstveno ispravni.

#### **5. Zapis o pokusu crtežom i tekstom**

Skicu pokusa poželjno je crtati simultano s izvođenjem pokusa, kako bi se učenici kasnije, učeći iz bilježnice, mogli prisjetiti izvođenja pokusa na satu. Osim skice, u bilježnice moraju biti zapisani važni zaključci.

#### **6. Uvježbavanje pokusa**

Čak i najjednostavnije pokuse treba izvesti jednom ili više puta prije izvođenja pred učenicima, kako bi se provjerila ispravnost uređaja. Također, važno je ponoviti što će učitelj govoriti tijekom izvođenja, kao i koja će pitanja postavljati učenicima kako bi se ostvarilo ono što se očekuje od učenika.

#### **7. Objašnjenje neuspjelog pokusa**

Ako pokus, iz bilo kojeg razloga, ne uspije, učitelj je dužan učenicima objasniti razloge njegova neuspjeha i ako je moguće, poželjno je ponoviti pokus.

#### 4. Kinestetički pokusi

Kinestetičke aktivnosti općenito možemo definirati kao sve aktivnosti koje uključuju tjelesne aktivnosti učenika.<sup>[14]</sup> U ovom radu će se pod pojmom kinestetički pokusi podrazumijevati one aktivnosti u kojima učenici igraju ulogu nekog fizičkog objekta, odnosno kinestetički pokusi će se poistovjetiti s metodom igranja uloga (eng. *role play*). Igranje uloga omogućuje učenicima da se „užive“ u ulogu i da „razmišljaju“ kao fizički entiteti koje predstavljaju. Na taj se način potiče dublje razumijevanje fizičkog fenomena kojeg promatraju te omogućuje dugoročnije pohranjivanje stečenog znanja. Kinestetički pokusi su demonstracijski pokusi, koji mogu biti kritični ili ilustrativni. Također, oni su najčešće i grupni.

Tjelesnu aktivnost je definirala Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) kao svaki pokret tijela koji je izveden korištenjem skeletnih mišića i koji rezultira potrošnjom energije. Prema njima, tjelesna aktivnost podrazumijeva tjelovježbu, ali i ostale aktivnosti koje uključuju pokret tijela, kao što su npr. kućni poslovi, rekreacijske aktivnosti, igranje.<sup>[15]</sup> U školama se tradicionalno tjelesna aktivnost povezuje samo s predmetom *Tjelesna i zdravstvena kultura*, ali s obzirom na važnost tjelesne aktivnosti za život pojedinca, poželjno je da se neki oblici tjelesne aktivnosti uključe i u ostale nastavne predmete.

Koje su koristi uvođenja tjelesne aktivnosti u nastavu ostalih predmeta? Da bismo to mogli razumjeti, važno je znati da su mozak i tijelo povezani. Naravno, svjesni smo činjenice da mozak upravlja cijelim našim tijelom i da svaki pokret kreće iz mozga, ali smo također skloni vjerovati da su mišljenje, učenje i ostali intelektualni procesi neovisni o tijelu. Kako bismo usvojili neku misao, potreban je pokret. Većina ljudi osjeća da im u učenju pomaže pričanje, koje je fina senzomotorička vještina. Pričanjem pokrećemo mišiće lica, jezika, glasnica i očiju, a pokret nam pomaže da učvrstimo naučenu informaciju.<sup>[16]</sup> Također, pisanje, plivanje, žvakanje, šetanje po sobi tijekom učenja olakšava proces učenja i omogućuje informacijama da se dugotrajno pohrane. John J. Ratey, doktor medicine sa Sveučilišta Harvard kaže: „Vježbanje doista koristi mozgu, a ne tijelu. Ono utječe na raspoloženje, vitalnost, bistrinu i osjećaj blagostanja.“<sup>[17]</sup> Također, istraživanja pokazuju da učenici koji postižu bolje rezultate na testovima tjelesne sposobnosti postižu bolje rezultate i na standardiziranim testovima iz matematike i engleskog jezika od svojih kolega s lošijom tjelesnom kondicijom.<sup>[18]</sup> Kutzala<sup>[19]</sup> navodi da tjelesna aktivnost poboljšava funkciju mozga, poboljšava cirkulaciju, reducira stres, stimulira neurogenezu (proces stvaranja novih neurona) te poboljšava epizodičko pamćenje, a posljedica



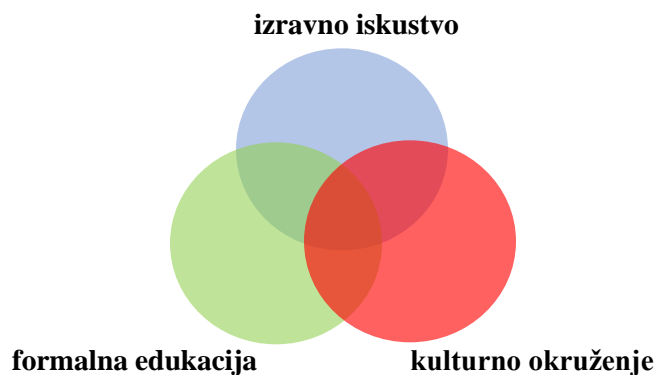
navedenog je poboljšanje i unaprjeđenje procesa učenja. Također, Kutzala <sup>[37, 2:33]</sup> kaže: „Učenje se ne događa od vrata na gore, već od stopala na gore.“

Ne motiviraju sve učenike jednake aktivnosti, a razlog tome je što svatko od nas ima svoj tip učenja, odnosno način na koji najbolje i najradije uči. Razlikujemo tri najpoznatija tipa učenja:

1. vizualni tip: najbolje uče gledanjem slika, fotografija, grafikona i ostalih vizualnih materijala,
2. verbalni tip: najbolje uče slušanjem, pričanjem i čitanjem,
3. kinestetički tip: najbolje uče pokretima tijela.<sup>[20]</sup>

Suvremena nastava bi trebala obuhvaćati metode rada pogodne za sva tri tipa učenja, ali nažalost, učitelji se uglavnom usredotočuju na korištenje vizualnih i verbalnih metoda učenja, dok se kinestetičke zanemaruju. Osim što tjelesna aktivnost ima brojne koristi za sve učenike (a i za same učitelje), ona je ujedno jedna od metoda na koje se može stimulirati i motivirati na rad učenike s kinestetičkim tipom učenja.

Prema Krsniku<sup>[11]</sup> učenici stvaraju osobne koncepte percipiranjem pojava u svojem okruženju (izravnim iskustvom) te na temelju informacija koje dobivaju različitim oblicima komunikacije u svojem kulturnom okruženju. Također, na stvaranje koncepata utječe i formalna edukacija (škola), gdje se učenici susreću sa znanstvenim značenjem tih koncepata (Slika 3.1.).



Slika 3.1. Izvori stvaranja učeničkih koncepata

S obzirom da nemaju svi učenici jednake predkoncepte niti su doživjeli jednaka iskustva, zadatak nastavnika je pružiti učenicima mogućnost da iskustveno dožive neke fizičke pojave, koje će im biti nužne za daljnje stvaranje koncepata. Kinestetičkim se pokusima, uz formalnu edukaciju, nastoji postići učeničko stjecanje izravnog iskustva, čime se potvrđuju pretkonceptije ili popravljaju miskonceptije.

## 4.1. Primjeri kinestetičkih pokusa u nastavi fizike

U ovom se poglavlju navode primjeri nekoliko kinestetičkih pokusa koji svoju primjenu mogu pronaći u nastavi fizike osnovnih i srednjih škola. Dani primjeri nisu jedine varijante navedenih pokusa, svaki od njih se može izvesti i na drugačiji način, neke od varijacija navodi Richards<sup>[14]</sup>. U ovom su radu prikazani pokusi u obliku u kojem ih je autor izveo u nastavi fizike u osnovnoj školi, a metodičke napomene izvedenih pokusa su prijedlozi za poboljšanje i napomene do kojih se došlo radom na pokusima i njihovim izvođenjem s djecom različitih uzrasta.

Pokusi „Longitudinalni i transversalni val“ te „Kristalna rešetka“ izvođeni su s učenicima 7. i 8. razreda u sklopu radionice „Igrajmo se atoma!“ na stručno-znanstveno interdisciplinarnom skupu „STEM: Danas za sutra 2“, koja se održala 15. 11. 2019. na Odjelu za fiziku Sveučilišta u Rijeci.<sup>[21]</sup> Osim s učenicima, ova dva pokusa izvedena su u ak. g. 2019./20. u sklopu kolegija *Izvannastavne prirodoslovno-matematičke aktivnosti* na 5. godini integriranog preddiplomskog i diplomskog Učiteljskog studija Učiteljskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci. Također, navedeni su pokusi izvođeni s vrtićkom djecom (šestogodišnjacima) u dječjem vrtiću Đurđice (Rijeka) u sklopu projekta „Čarobni dan“, koji se organizira u okviru programskog pravca „27 susjedstava“ – susjedstvo Kampus.<sup>[22]</sup> Tamo su navedeni pokusi izvođeni u manjem obimu i sa ishodom primjerenima njihovoj dobi. Izvedba navedenih pokusa s vrtićkom djecom nije bila toliko uspješna kao sa starijom djecom, iz razloga što je teže koordinirati veći broj šestogodišnjaka odjednom, kao i zadržati njihovu koncentraciju.

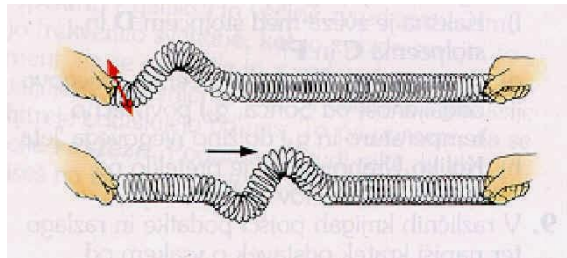
Pokus „Kinestetičko-molekulska teorija plinova“ izveden je također u sklopu kolegija *Izvannastavne prirodoslovno-matematičke aktivnosti* na Integriranom preddiplomskom i diplomskom Učiteljskom studiju Učiteljskog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, dok su pokusi „Električna struja u metalima i elektrolitima“, „Električni otpor“ te „Strujni krug“ izvedeni su s učenicima 8. razreda Osnovne škole Podmurvice u sklopu redovne nastave fizike.

Važno je napomenuti da je svim učenicima s kojima su pokusi izvedeni to bio prvi susret s takvim oblikom pokusa te da su njihove reakcije bile vrlo pozitivne. Učenici 8. razreda su izrazili želju da se više takvih pokusa uvede u nastavu jer im je bilo izrazito zanimljivo i smatraju da su naučili puno više nego što bi klasičnom, frontalnom nastavom.

#### 4.1.1. Longitudinalni i transverzalni val

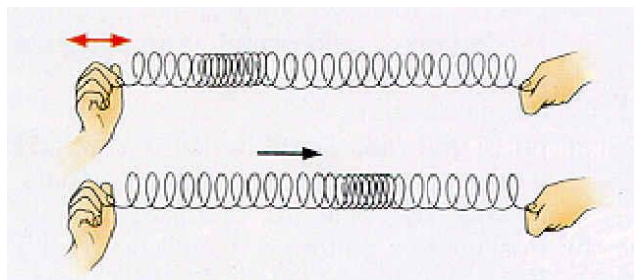
##### UVOD U POKUS:

Val je prostorno i vremensko prenošenje titranja sredstvom. Za vrijeme širenja vala nekim sredstvom, čestice tog sredstva se gibaju oko ravnotežnog položaja, odnosno titraju. S obzirom na smjer titranja čestica, razlikujemo longitudinalni i transverzalni val. Kod transverzalnih valova, kakvi su primjerice valovi na vodi, čestice sredstva titraju okomito na smjer širenja vala. Kako bi učenicima bilo jasnije, nastajanje transverzalnog vala može se demonstrirati na opruzi. Jedan dio opruge učvrstimo, a slobodni dio opruge postaje izvor vala. Slobodni kraj opruge pomičemo gore – dolje, na taj način pobuđujemo čestice opruge na titranje. Kako su čestice opruge međusobno povezane molekulskim silama, poremećaj se prenosi na susjedne čestice pa i one počnu titrati. Na taj se način poremećaj širi sredstvom (oprugom) i nastaje val (Slika 4.1.).<sup>[23]</sup>



Slika 4.1. Transverzalni val na opruzi

Kod longitudinalnih valova, kakav je primjerice zvuk, čestice titraju u smjeru širenja vala. Longitudinalni val možemo također realizirati na opruzi. Slobodni kraj opruge lagano opustimo pa zategnemo, odnosno napravimo titraj uzduž opruge. Na taj način stvorimo zgušnjenje, koje onda putuje uzduž opruge kao val (Slika 4.2.).<sup>[23]</sup>



Slika 4.2. Longitudinalni val na opruzi

### POTREBNA SREDSTVA:

- mobiteli i/ili baterijske svjetiljke

### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (dvije grupe po 6-7 učenika)

### IZVOĐENJE POKUSA:

U ovom pokusu učenici „glume“ čestice sredstva kojima se val širi, pri čemu njihovi pokreti rukama, nogama i tijelom prikazuju titranje čestice sredstva.

Kako bi se demonstriralo širenje poremećaja sredstvom, djeca se poredaju jedan do drugoga, leđima okrenutim prema zidu. Prvi učenik proizvede određeno gibanje - titraj, a ostali ponavljaju isti pokret sa zakašnjenjem, odnosno s pomakom u fazi. Tako se poremećaj (titraj) širi od prvog do zadnjeg učenika u nizu. Titraj može biti bilo kakav pomak učenika npr. čučanj, podizanje ruke, pomak ramenima ili zvučni efekt (zvižduk, pljesak, šapat). U zamračenoj prostoriji poremećaj-titraj može biti svjetlosni (bljesak baterijske ili svjetiljke mobitela).

Kod demonstriranja transverznog vala nužno je da su smjer titraja i smjer širenja vala međusobno okomiti. Klasičan primjer takvog pokusa su stadionski valovi kojeg navijači izvode podizanjem ruku iznad glave (Slika 4.3.). Važno je da učenici proizvedu titraje jedan po jedan, a ne svi u isto vrijeme kako bi se uočilo širenje vala. Ukoliko se učenicima teško uskladiti i podići ruke na vrijeme, mogu se držati za ruke i podizati ih spojene.



Slika 4.3. Demonstracija transverznog vala s pripadnim QR kodom

Kod demonstriranja longitudinalnog vala, smjer titraja i smjer širenja vala trebaju biti jednaki. Primjer takvog titraja je pomak ramenima lijevo-desno. Učenici stoje jedan do drugoga, dovoljno blizu da im se ramena dotaknu prilikom izvođenja titraja, a dovoljno daleko da se ne udare prejako. U trenutku kada drugi učenik osjeti lagani udarac u svoje rame, on „zatitra“ tako da drugim ramenom dotakne susjednog učenika, odnosno, prenese poremećaj (Slika 4.4.).



Slika 4.4. Demonstracija longitudinalnog vala s pripadnim QR kodom

Mijenjajući brzinu prijenosa pokreta može se demonstrirati koncept brzine vala.

Na ovaj se način može demonstrirati i odbijanje valova od prepreke. Učenici se poredaju na isti način, tako da je rame posljednjeg učenika u nizu blizu zida ili neke druge čvrste prepreke. Kad titraj dođe do njega on ramenom dotakne zid, odbije se od njega te zatitra susjednog učenika čime se titranje, odnosno odbijeni val, počinje širiti natrag (Slika 4.5.).<sup>[24]</sup>



Slika 4.5. Demonstracija odbijanja vala od prepreke s pripadnim QR kodom

### METODIČKE NAPOMENE:

- Budući da učenici koji izvode pokus ne mogu istovremeno gledati svoju izvedbu, poželjno je da se pokus izvodi s dvije grupe od po 6-7 učenika. Jedna grupa izvodi pokus, dok ih druga promatra, a zatim se zamijene. Na ovaj način svi učenici dobiju priliku sudjelovati, kao i uočiti da je to što izvode val.
- Prilikom izvođenja ovog pokusa s učenicima osnovnih škola i vrtića primijetili smo da je ova aktivnost najpogodnija za izvođenje s učenicima viših razreda osnovne škole. Za mlađe učenike, a posebno vrtićance, aktivnost je dosta složena i zahtjevna za izvođenje.
- Ukoliko se radi s mlađom djecom, poželjno bi bilo pokazati video neke druge skupine koja izvodi taj pokus, kako bi djeca vidjela što treba napraviti. Možda bi na taj način pokus bio uspješniji.
- Inačice ovog pokusa navodi Richards.<sup>[14]</sup>

#### 4.1.2. Kristalna rešetka

##### UVOD U POKUS:

Sve se tvari mogu nalaziti u jednom od tri agregatna stanja: plinovitom, tekućem ili krutom. Postoji još i stanje plazme, ali ono neće biti potrebno za ovaj rad. Molekularno-kinetička teorija tvari tvrdi da se sva tvar sastoji od sitnih čestica, molekula, koje su u konstantnom gibanju i koje se sudaraju jedna u drugu poput biljarskih kugli.<sup>[25]</sup>

S obzirom da su atomi, a i molekule, nevidljivi golim okom, većina učenika ima poteškoća sa vizualizacijom građe tvari. Kako bi se učenicima olakšala vizualizacija i omogućilo razumijevanje procesa koji se događaju na mikroskopskoj razini, kao i potaknulo uočavanje i razumijevanje sličnosti i razlika tvari u krutom i tekućem agregatnom stanju, možemo se poslužiti ovdje opisanom kinestetičkom aktivnosti.

##### POTREBNA SREDSTVA:

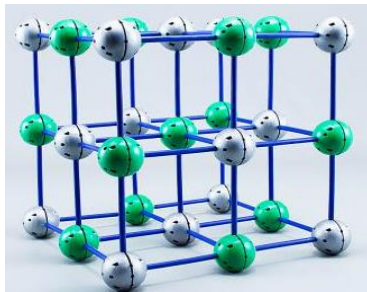
- suha i mokra tkanina

##### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (idealno bi bile dvije grupe po 9 učenika, ali može i po 6 ili 12)

##### IZVOĐENJE POKUSA:

Prije same demonstracije, poželjno bi bilo učenicima pokazati model kristalne strukture neke čvrste tvari, kako bi im bilo jasno kakvu strukturu trebaju demonstrirati. Na Slici 4.6. je prikazan primjer modela kristalne strukture natrijeva klorida, tj. kuhinjske soli.



Slika 4.6. Model kristalne rešetke natrijeva klorida



Demonstracija započinje kinestetičkim modeliranjem čvrstog stanja tvari. S obzirom da je teško (gotovo i nemoguće) prikazati trodimenzionalni model pomoću učenika, u ovoj ćemo aktivnosti prikazati vrlo pojednostavljeni dvodimenzionalni model, tj. jednu plohu kristalne rešetke (dimenzije npr. 4x4 učenika-molekule).

Učenici se poredaju u pravokutnu prostornu strukturu u kojoj položajem i gibanjem tijela predstavljaju molekule i kemijske veze među njima. Čvrste veze molekula u kristalnoj rešetci, odnosno krutinama predočavaju se tako da svaki učenik stavi lijevu ruku na rame lijevog susjeda, a desnu na rame učenika ispred sebe. Ruke moraju biti krute i ispružene, tj. ne smiju se savijati u laktu (Slika 4.7.).



Slika 4.7. Demonstracija međumolekulskih veza kod krutina (suha krpa) s pripadnim QR kodom

Prema molekularno-kinetičkoj teoriji molekule u čvrstoj tvari su u konstantnom gibanju. S obzirom da su molekule čvrsto vezane jedna za drugu, to gibanje je vrlo ograničeno, odnosno svaka molekula može samo vibrirati, pritom ne mijenjajući svoju poziciju. Te vibracije možemo prikazati tako da se učenici na mjestu lagano tresu, savijaju koljena, spuštaju u čučanj, ali pritom uvijek držeći ruke ukrućenima. Drugim riječima, veze među susjedima se ne smiju prekinuti. Dopusštena gibanja pojednostavljeno opisuju vibracije molekula u kristalnoj rešetci.

Demonstracija razlike vezanog sustava od sustava s većim stupnjem slobode (energije) obavlja se u dva stupnja. Nastavnik objasni da je u nastavku pokusa svim „česticama“ dopušteno hodati u prostoru, ako ih „vanjska sila“ na to primora. Vrlo je važno, međutim, zadržati krute veze među „molekulama“ ispruženim rukama, ne savijanjem u laktu i ne ispuštanjem svojega susjeda. Zatim nastavnik („vanjska sila“) uzme za ruku učenika u prvom redu „rešetke“ i vuče ga prema naprijed. Svi ga učenici slijede (jer hodati smiju, ali se ne smiju ispustiti rukama). „Kristalna rešetka“ pri tome ostaje nepromijenjena oblika što joj osiguravaju ispružene i krute



veze svih „molekula“. Zatim se demonstrira manje vezano stanje (tekuće, mokra krpa). Učenicima je sada dopušteno savijanje ruku u laktovima, no i dalje moraju držati susjeda i ne ga ispuštati (Slika 4.8.).



Slika 4.8. Demonstracija međuatomskih veza kod tekućina (mokra krpa) s pripadnim QR kodom

Kad nastavnik ponovno uzme za ruku prvog učenika u „rešetci“ i povuče ga najprije nekoliko koraka u lijevo, a zatim u desno, ostali učenici ga slijede, ali više ne zadržavaju oblik „kristalne rešetke“, već se „rešetka“ deformira. Zbog labavih ruku u laktovima razmaci među „molekulama“ više nisu jednaki i održani. Zato se oblik strukture, koju svojim tijelima čine učenici, prilagođava putanji na sličan način kao mokra krpa koju po stolu povlačimo lijevo pa desno.

Inačice ovog pokusa navodi Richards <sup>[14]</sup>.

#### METODIČKE NAPOMENE:

- Kod mlađih učenika, koji ne poznaju agregatna stanja, ova aktivnost može se opisati i kao pokus o razmatranju razlika između mokre i suhe krpe.
- Potrebno je osigurati dovoljno veliki prostor kako ne bi došlo do neke nezgode, a demonstracija je vrlo prikladna za izvođenje na otvorenom npr. na školskom igralištu.
- Prije izvođenja demonstracije, mogu se pripremiti dvije jednake krpe, od kojih je jedna suha, a druga mokra. Kako bi učenicima bilo jasnije kako se moraju ponašati prilikom izvođenja pokusa, i jedna i druga krpa se uhvate za kut i povlače se lijevo-desno. Učenici će primijetiti da će suha krpa ostati nedeformirana, a mokra će se deformirati.

- Prilikom izvođenja ovog pokusa s učenicima osnovnih škola i vrtića primijetili smo da je ova aktivnost najpogodnija za učenike viših razreda osnovne škole. Za mlađe učenike, a posebno vrtićance, aktivnost je dosta složena i zahtjevna za izvođenje.

### 4.1.3. Kinetičko-molekulska teorija plinova

#### UVOD U POKUS:

Zašto se baloni s helijem s vremenom ispušu ako smo ih jako čvrsto zavezali? Ako poprskamo parfem u čašu, zašto miris ne ostane samo u čaši nego se raširi prostorom? Odgovore na ova pitanja možemo dobiti ukoliko razumijemo građu plina i poznajemo osnovne postavke kinetičke teorije plinova.

Kinetička teorija plinova opisuje uzroke makroskopskih pojava koje opisuju fizički parametri tlak i temperatura. Kinetička teorija idealnih plinova ima 4 osnovne postavke:

- (1) molekule se u plinu gibaju nasumce u svim smjerovima,
- (2) međusobni sudari molekula plina i sudari molekula plina sa stijenkama su elastični,
- (3) između dvaju sudara, molekule se gibaju kao slobodne čestice,
- (4) gibanje svake molekule može se opisati kao gibanje materijalne točke (srednja udaljenost između molekula u plinu mnogo je veća od promjera jedne molekule).<sup>[26]</sup>

#### POTREBNA SREDSTVA:

- klupe, stolice (nešto čime možemo ograditi prostor koji predstavlja posudu s plinom)

#### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (idealno bi bilo 6-9 učenika)

#### IZVOĐENJE POKUSA:

Kinestetičkim pokusima s učenicima moguće je demonstrirati ponašanje čestica plina, a tijekom njihovog osobnog tjelesnog iskustva „glumljenja“ čestica plina mogu razumjeti razliku plinovitog i ostalih agregatnih stanja. Pokus se izvodi u ograđenom prostoru koji predstavlja posudu s plinom. Za ograđivanje se mogu iskoristiti zidovi, klupe i stolice. Učenici predstavljaju čestice plina i nalaze se u ograđenom prostoru (Slika 4.9.).



Slika 4.9. Učenici kao „čestice plina” u ograđenom prostoru

U prvoj fazi pokusa dovoljna su 3-4 učenika. Dane su im upute za gibanje: po prostoru mogu slobodno hodati gibajući se određenom brzinom. Prvotno se gibaju polako i manjim koracima (primjerice korak veličine stopala). Time se postiže približno jednaka brzina gibanja svih „čestica plina“. Brzina gibanja pojednostavljeno opisuje temperaturu plina. Prilikom sudara učenika sa „stijenkom posude“ ili drugim „česticama“ učenik se mora zaokrenuti za  $90^\circ$  i nastaviti svoje pravocrtno gibanje u novom smjeru.<sup>[24]</sup>

Demonstracija povećanja tlaka u posudi izvodi se ulaskom većeg broja učenika u ograđeni prostor. Tada se uočava veći broj sudara.

Uputom učenicima o brzem hodanju demonstriramo povećanje temperature plina.

Povećavanjem ili smanjivanjem površine ograđenog prostora mijenjamo obujam „posude plina“.

Taj način olakšava učenicima pamćenje plinskih zakona:

**(1) Boyle-Mariotteov zakon** (izotermni zakon) tvrdi da je pri stalnoj termodinamičkoj temperaturi umnožak tlaka i volumena plina konstantan, tj. tlak i volumen su obrnuto razmjerni. To znači da koliko se puta volumen posude poveća, toliko se puta tlak u posudi smanji.<sup>[27]</sup>

Kinestetičkim pokusom to možemo prikazati tako što se povećanjem volumena „posude“ događa sve manje sudara među učenicima, odnosno tlak se smanjuje. Pri tome je važno temperaturu plina držati konstantnom, odnosno učenici moraju hodati jednoliko.

**(2) Gay-Lussacov zakon** (izobarni zakon) tvrdi da je pri stalnom tlaku volumen plina razmjernan termodinamičkoj temperaturi, tj. koliko puta se poveća volumen plina, toliko puta se mora povećati temperatura plina.<sup>[27]</sup>

Ukoliko želimo Gay-Lussacov zakon prikazati kinestetičkim pokusom, potrebno je voditi računa o tome da treba održati konstantan tlak unutar posude, odnosno treba održati jednaki broj sudara dok se volumen posude mijenja. S obzirom da treba imati jednak broj sudara, povećanjem volumena posude, učenici se trebaju brže kretati kako bi se sudarili „dovoljno“ puta.

**(3) Charlesov zakon** (izohorni zakon) tvrdi da je pri stalnom volumenu tlak plina razmjeran termodinamičkoj temperaturi, tj. koliko puta se poveća termodinamička temperatura, toliko puta će se povećati tlak plina.<sup>[27]</sup>

U kinestetičkom pokusu, volumen posude držimo stalan, a povećavamo temperaturu, odnosno brzinu kretanja učenika. Što se učenici brže kreću, bit će više sudara među njima, odnosno tlak u posudi će biti veći.

Zanimljivo je i zabavno demonstrirati istjecanje plina iz posude, stvaranjem otvora u ograđenom prostoru, npr. uklanjanjem jedne stolice. Ako se učeniku, tijekom gibanja otvor nađe na putu, on mora izaći (Slika 4.10.). Veličinu otvora se može mijenjati. „Posuda“ će se to brže isprazniti što je veći otvor i što je veća brzina gibanja čestica.



Slika 4.10. Otvaranje “posude” i izlazak “čestica plina”

Nakon ovog dijela demonstracije, vraćamo se na pitanje o balonu, postavljeno na početku priče. Naime, balon ima jako sitne pore koje mi ne vidimo golim okom, a plin helija se sastoji od još sitnijih čestica koje mogu izaći kroz te rupe. Čestice helija se unutar balona gibaju nasumično (kao učenici u posudi), a kada neka čestica „naide“ na poru u balonu, ona kroz nju izađe (kao učenici kada im maknemo stolicu). To se ne događa često, ali malo po malo čestice helija napuštaju balon te se on naočigled isprazni.

Na jednak način se širi miris iz čaše (ili nekog lonca prilikom kuhanja), pri čemu je otvor čaše puno veći od čestica zraka koje prenose miris pa puno čestica izlazi i miris jako brzo „bježi“ iz čaše i širi se prostorom.

METODIČKE NAPOMENE:

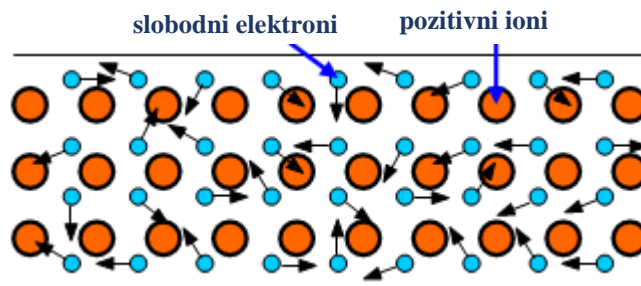
- Potrebno je raščistiti dovoljno prostora za izvođenje ovog pokusa.
- Budući da ovaj pokus ima puno mogućnosti i elemenata koji se mogu uključiti ili izbaciti, moguće ga je izvoditi na različitim stupnjevima obrazovanja kod učenika.

#### 4.1.4. Električka struja u metalima i elektrolitima

##### UVOD U POKUS:

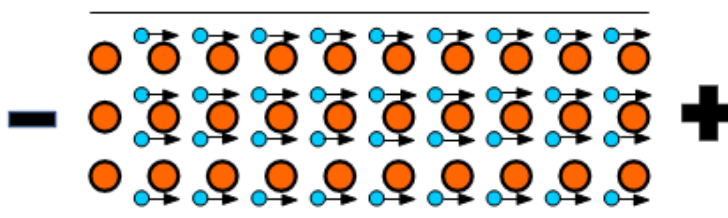
Ovisno o tome kako se ponašaju kada ih uključimo u strujni krug, tvari možemo podijeliti na izolatore i vodiče. Izolatori su tvari koje ne provode električnu struju, a vodiči su tvari koje dobro provode električnu struju. Vodiči mogu biti metali, elektroliti i neki plinovi. U ovom radu prikazat ćemo kako možemo, uz pomoć učenika, izvesti kinestetički pokus kojim ćemo prikazati što je to električna struja u metalima, a što u elektrolitima.

Kako bi mogli objasniti što je električna struja u metalima potrebno je zaviriti u građu metala. Kristalnu rešetku metala čine fiksni pozitivni ioni i slobodni elektroni. Pozitivni ioni miruju, a slobodni elektroni se gibaju kaotično, u svim smjerovima, čak i dok metal nije spojen na izvor električne energije (Slika 4.11.).<sup>[28]</sup>



Slika 4.11. Kristalna rešetka metala

Kada se elektroni nađu u jakom električnom polju, odnosno kada je jedna strana metala spojena na pozitivnu stranu izvora, a druga strana na negativnu stranu, elektroni se počinju usmjereno gibati, iako i dalje kaotično. S obzirom da su elektroni negativno nabijene čestice, na njih djeluje privlačna električna sila pozitivnog pola izvora i svi elektroni se počinju gibati prema pozitivnoj strani izvora. Upravo to usmjereno gibanje slobodnih elektrona čini električnu struju u metalima (Slika 4.12.).



Slika 4.12. Kristalna rešetka metala spojenog na izvor električne energije

S obzirom da se gibanje elektrona unutar vodiča ne može vidjeti golim okom, ovaj dio gradiva je također vrlo apstraktan za učenike. Kinestetičkim pokusom im se to može približiti, olakšati razumijevanje, a time i pamćenje. Ponovno bi bilo poželjno da jedan dio učenika izvodi pokus dok ostatak učenika promatra. Potom se učenici zamijene, izvođači postanu promatrači i obrnuto. Ovaj sistem je vrlo učinkovit jer omogućava učenicima promatračima da uoče detalje promatrajući sa strane, koje su u nemogućnosti uočiti dok sudjeluju u izvođenju pokusa.

#### POTREBNA SREDSTVA:

- klupe, stolice (nešto čime možemo ograditi prostor koji predstavlja čašu s elektrolitom)
- papiri na kojima će biti napisani veliki znakovi „+“ i „-“, s pripremljenim okovratnim trakicama

#### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (idealno bi bilo 16 učenika)

#### IZVOĐENJE POKUSA:

Prvi dio kinestetičkog pokusa prikazuje gibanje slobodnih elektrona u metalu koji nije spojen na izvor električne energije, a potom se metal „spaja“ na izvor i nastoji se reproducirati što se tada događa sa slobodnim elektronima.

Jedan dio razreda predstavljati će fiksne pozitivne ione. Ti bi se učenici trebali posložiti u pravilnu kristalnu rešetku metala (učenici s oznakama „+“ na Slikama 4.13. i 4.14. ). Kako bi se bolje vidjelo ono što se želi prikazati, dovoljno bi bilo da se učenici - ioni poslažu u dva reda po 4-5 učenika. Važno je da učenici - ioni ostave dovoljno razmaka između sebe kako bi se drugi učenici – slobodni elektroni mogli kaotično gibati između njih. Dakle, zadatak učenika - slobodnih elektrona jest kaotično se gibati između fiksnih iona, sudarajući se sa njima i sa drugim slobodnim elektronima (Slika 4.13. i Slika 4.14.).





Slika 4.13. Kaotično gibanje slobodnih elektrona između iona – učenici



Slika 4.14. Kaotično gibanje slobodnih elektrona između iona – učenici

Za ovaj dio pokusa nisu bili potrebni nikakvi dodatni rekviziti, ali ukoliko se želi, može se, radi bolje vizualizacije, „označiti“ učenike koji predstavljaju fiksne pozitivne ione i učenike koji predstavljaju slobodne elektrone. To se može napraviti na način da se pripreme papiri na kojima će biti napisani veliki znakovi „+“ i „-“ koje će učenici, za vrijeme pokusa, objesiti oko vrata ili držati u rukama. Pri tome će učenici koji imaju „+“ na papiru predstavljati fiksne ione, a učenici koji imaju „-“ predstavljati slobodne elektrone. Primjeri znakova vidljivi su na prethodnim slikama.

Za drugi dio pokusa, potrebno je metal „spojiti“ na izvor električne energije. To se može jednostavno predočiti tako da na jedan kraj učionice postavimo znak „+“, koji predstavlja pozitivan pol izvora, a na suprotni zid učionice postavimo znak „-“, koji predstavlja negativan pol izvora. Drugi način simuliranja izvora električne energije jest angažiranje dvaju učenika, tako da jedan drži znak „pozitivan pol baterije“, a drugi „negativan pol baterije“, kao što je prikazano na Slici 4.15. Potrebno je samo pripaziti da preostali učenici budu postavljeni po dužini između tih znakova. „Spajanjem“ metala na izvor električne energije, učenici (slobodni elektroni) se i dalje gibaju kaotično, ali se svi skupa, kao cjelina, gibaju prema pozitivnom polu izvora (prema zidu „+“). Tako gibanje učenika predstavlja električnu struju u metalima.<sup>[24]</sup>



Slika 4.15. Usmjereno gibanje slobodnih elektrona između iona – učenici

Elektroliti su otopine soli, kiselina ili lužina koje mogu provoditi električnu struju.<sup>[29]</sup> Kada se kiseline, lužine i soli nađu u vodenim otopinama, dolazi do pojave elektrolitske disocijacije, odnosno do rastavljanja na pozitivno nabijene ione (katione) i negativno nabijene ione (anione).<sup>[30]</sup>

Tako se, na primjer, molekula kuhinjske soli, tj. natrijeva klorida, procesom elektrolitske disocijacije rastavlja na pozitivne ione natrija ( $\text{Na}^+$ ) i negativne ione klora ( $\text{Cl}^-$ ).<sup>[31]</sup>

Nakon što se u elektrolit urone dvije elektrode (pozitivna i negativna), tj. metalni štapići spojeni na izvor električne energije, disocirani se ioni nalaze u električnom polju i započinju svoje gibanje. Pozitivni ioni gibaju se prema negativnoj elektrodi, a negativni ioni prema pozitivnoj. Električna struja u elektrolitima je upravo to usmjereno gibanje pozitivnih i negativnih iona.<sup>[32]</sup>

Za izvođenje ovog pokusa, kao i prethodnog, potrebno je raščistiti polovicu učionice. Taj dio učionice sada će predstavljati posudu u kojoj se nalazi elektrolit. Može se čak i ograditi dio učionice kako bi vjernije predstavljao posudu. Za izvođenje pokusa, potreban je paran broj učenika, s obzirom da pokus započinju u parovima. Na samom početku, učenici se nalaze izvan „posude“, a u „posudi“ zamišljamo da se nalazi samo voda. Svaki učenik ima oko vrata ovješan znak prepoznavanja, tj. papir sa znakom „+“ ili „-“, kao što je objašnjeno u prethodnom pokusu. Polovica učenika predstavlja negativne ione, a polovica pozitivne. Učenike je potrebno poslagati u parove, tako da se u jednom paru nalazi jedan „pozitivan“ učenik (npr. ion  $\text{Na}^+$ ) i jedan „negativan“ (npr. ion  $\text{Cl}^-$ ). Učenici se čvrsto drže za ruke i stoje jedan blizu drugoga (Slika 4.16.). Njihov je zadatak predstavljati molekulu kuhinjske soli, tj. natrijeva klorida.



Slika 4.16. Učenci kao molekule NaCl prije „ubacivanja“ u vodu

Nakon toga, učenike se „ubaci“ u posudu s vodom (raščišćeni dio razreda), oni se počinju razdvajati (elektrolitska disocijacija) i svaki učenik se počinje kretati kao zaseban ion. S obzirom da elektrolit nije priključen na izvor, ioni se kaotično gibaju unutar posude sudarajući se pritom s drugim ionima i sa stijenkama posude (Slika 4.17.).



Slika 4.17. Učenci kao ioni  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  nakon „ubacivanja“ u vodu s pripadnim QR kodom

Sljedeći dio pokusa, umetanje elektroda u elektrolit, možemo simulirati kao u prošlom slučaju, stavljajući na jedan kraj učionice znak „+“, koji predstavlja pozitivnu elektrodu, a na suprotni zid učionice znak „-“, koji predstavlja negativnu elektrodu. Isto se može izvesti uz pomoć dvoje učenika koji drže znakove „anoda“ i „katoda“.

Javlja se električna sila koja uzrokuje gibanje negativnih iona ( „-“ učenika) ka pozitivnoj elektrodi i pozitivnih iona („+“ učenika) ka negativnoj elektrodi, kao što je prikazano na Slici 4.18. Usmjereni gibanje iona (pozitivnih i negativnih) čini električnu struju u elektrolitima.



Slika 4.18. Učenici kao ioni  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  nakon uranjanja elektroda s pripadnim QR kodom

#### METODIČKE NAPOMENE:

- Za ovaj pokus potrebno je osloboditi barem pola učionice od klupa i ostalih prepreka kako ne bi došlo do nezgode.
- Prilikom izvođenja pokusa, potrebno je osvijestiti učenike što predstavljaju „+“ i „-“ kojeg drže, da ne bi došlo do pogrešnih koncepata.
- Ukoliko se pokus izvodi prilikom obrade novog gradiva, nastavnik koordinira učenike i daje im upute što trebaju raditi. Međutim, ovaj je pokus odličan i za ponavljanje gradiva. U tom slučaju učenicima se može opisati što se od njih očekuje i dozvoliti im da se dogovore međusobno i da sami pokušaju prikazati što se događa unutar metala/elektrolita.
- Pokus se može izvesti i na način da stolice razmještene po učionici predstavljaju ione, kao prepreke gibanju učenika - elektrona.

#### 4.1.5. Električni otpor

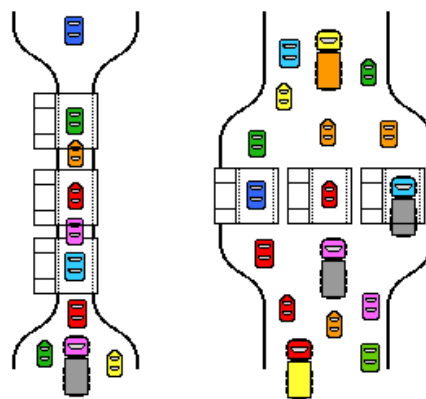
##### UVOD U POKUS:

Kao što je prije opisano, građa metala može se pojednostavljeno opisati kao kristalna rešetka fiksnih iona između kojih se neprestano, kaotično gibaju slobodni elektroni. Električni je otpor svojstvo materijala zbog kojeg se materijal suprotstavlja usmjerenom gibanju slobodnih elektrona. Električni otpor u vodičima nastaje zbog međudjelovanja, odnosno sudara, slobodnih elektrona sa fiksnim ionima kristalne rešetke.

Kretanje elektrona ometaju vibracije iona u metalnoj rešetci, što uzrokuje gubitak dijela električne energije električne struje. Budući da se vibracije rešetke povećavaju kako temperatura raste, otpornost metala se povećava i s porastom temperature.<sup>[33]</sup>

Osim o temperaturi, otpornost vodiča ovisi i o njegovoj duljini i površini poprečnog presjeka. Što je vodič dulji, elektroni na svome „putu“ naiđu na više fiksnih iona te se dogodi više sudara i više gubitaka električne energije iz čega možemo zaključiti da je otpornost vodiča veća. Na sličan način možemo objasniti ovisnost otpornosti vodiča o površini poprečnog presjeka. Što je ta površina manja, elektronima je sve „teže“ kretati se kroz vodič jer se događa više sudara sa vibrirajućim ionima. Odnosno, što je površina poprečnog presjeka vodiča veća, otpornost vodiča je manja.

Ovo se može učenicima objasniti uspoređujući slobodne elektrone sa autima, a vodič sa cestom/autocestom (Slika 4.19.). Što je cesta šira, promet će se manje usporavati i brže će teći, a na mjestima gdje dolazi do suženja ceste, odmah nastaje gužva i autima treba dulje vrijeme da prođu tu dionicu.



Slika 4.19. Otpor na cestama

Osim usporedbe sa situacijom iz svakodnevice, učenicima razumijevanje pojave otpora uvelike može olakšati i kinestetička aktivnost. Ova aktivnost pogodna je za uvod u temu električnog otpora jer omogućuje učenicima da samostalno zaključe što je električni otpor te kako on ovisi o duljini vodiča, površini poprečnog presjeka i temperaturi. Ta ovisnost glasi:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

gdje je  $R$  otpor vodiča,  $\rho$  otpornost,  $l$  duljina vodiča, a  $S$  površina poprečnog presjeka vodiča.

#### POTREBNA SREDSTVA:

- krep traka ili klupe koje će predstavljati rubove vodiča
- papiri sa znakovima „+“ i „-“

#### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (optimalno bi bilo 16 učenika)

#### IZVOĐENJE POKUSA:

Prije početka aktivnosti, prostor je potrebno pripremiti. Na pod se mogu nacrtati kredom (ukoliko se aktivnost izvodi na igralištu) ili samoljepljivim trakama dvije paralelne crte koje će predstavljati rubove vodiča. Za prvi dio aktivnosti dovoljno je da udaljenost među crtama bude otprilike 1,5 m, a duljina otprilike 3 m. Dio učenika se treba poslagati s unutarnje strane crta, tako da se nalaze u dva reda „unutar“ vodiča. Oni predstavljaju fiksne ione i njihov je zadatak da stoje na početnoj poziciji, ali da malim oscilacijama od početnog položaja predstavljaju vibracije fiksnih iona u metalima (Slika 4.20.). Učenicima je potrebno naglasiti da se smiju vrlo malo pomicati u svim smjerovima, ali tako da se ne pomaknu puno od svog početnog položaja.



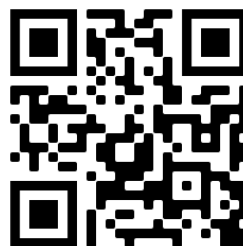


Slika 4.20. Učenici predstavljaju fiksne ione u kristalnoj rešetci metala

Ostatak učenika predstavljat će slobodne elektrone, tj. električnu struju koja teče vodičem. Oni će se poslagati na jednom kraju vodiča dok učitelj ne da znak da krenu i njihov će zadatak biti kaotično se i usmjerenom gibati kroz vodič dok ne „izađu“ iz njega. Kada učitelj da znak, „elektroni“ započinju svoje kaotično gibanje (lijevo-desno), a ujedno se svi zajedno kreću prema krajevima vodiča (Slika 4.21. i Slika 4.22.).



Slika 4.21. Električna struja teče metalom - učenici



Slika 4.22. Fiksni ioni pružaju otpor prolasku električne struje s pripadnim QR kodom

Nakon završetka aktivnosti, učitelj diskutira s učenicima i pita ih kakvo im je bilo gibanje i jesu li bez problema došli do kraja vodiča ili su ipak naišli na neke poteškoće/prepreke. Učenici uz pomoć učitelja i iskustveno zaključuju što je električni otpor te što ga uzrokuje.

U drugom dijelu aktivnosti promatra se ovisnost otpora vodiča o temperaturi. Što je temperatura veća, fiksni ioni brže i jače vibriraju, a time povećavaju i otpor vodiča. Učenicima koji predstavljaju fiksne ione se treba napomenuti da u ovom slučaju trebaju brže vibrirati, odnosno da se mogu više i brže pomicati (npr. plesati) oko svoj početnog položaja. Primjerice, ako je njihov radijus kretanja bio duljina jednog stopala, neka sada bude dvije duljine stopala. Učenici - elektroni imaju isti zadatak kao i prije, a nakon izvedene aktivnosti trebaju izvijestiti i prodiskutirati s učiteljem doživljeno iskustvo - je li im se sada bilo teže ili lakše kretati kroz vodič i zašto misle da je to tako.

Učenici bi trebali doći do zaključka da im se teže bilo kretati u 2. slučaju jer su fiksni ioni jače vibrirali i pružali su im veći otpor prilikom kretanja.

Ukoliko je vodič kraći, odnosno ukoliko dvostruko smanjimo duljinu crta nacrtanih na podu i učenicima zadamo jednaki zadatak kao i prije, hoće li se učenici-elektroni više puta sudariti sa drugim učenicima nego prije ili manje? Ukoliko učenici ne znaju sami odgovor na to



pitanje, može se cijela aktivnost ponoviti sa skraćenim crtama/oznakama na podu pa će učenicima biti lakše zaključiti.

Naposljetku, ostaje još provjeriti ovisnost otpora vodiča o površini njegova poprečnog presjeka. Kako bi se mogla uočiti ta ovisnost, razmak između crta na podu (tj. širinu vodiča) se treba smanjiti. Idealno bi bilo na 1,2 m, na taj način učenicima ostaje dovoljno mjesta za kretanje vodičem, a dovoljno je „usko“ da primijete razliku. Učenicima se daju iste upute kao na početku, a nakon obavljene aktivnosti diskusijom se dolazi do zaključka da je otpor vodiča veći što je površina poprečnog presjeka vodiča manja.

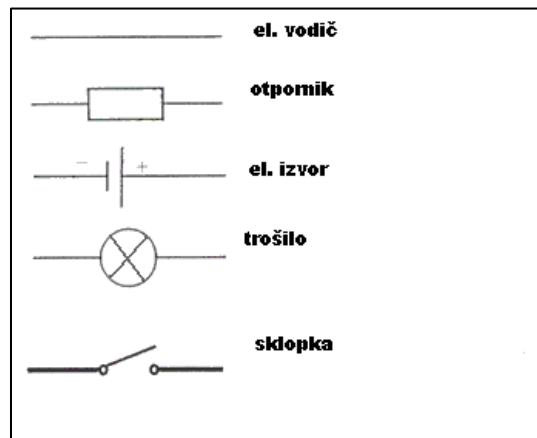
#### METODIČKE NAPOMENE:

- Potrebno je puno opreza kako se učenici ne bi ozlijedili prilikom izvođenja pokusa. Treba im napomenuti da pripaze dok se provlače kroz „vodič“.
- Ovaj je pokus odličan prilikom obrade novog gradiva. Zbog jednostavnosti izvedbe, uz nastavnikove upute učenici će vrlo lako doći do željenih zaključaka, tj. lako će provjeriti kako otpor vodiča ovisi o duljini vodiča, površini poprečnog presjeka i temperaturi.

#### 4.1.6. Strujni krug

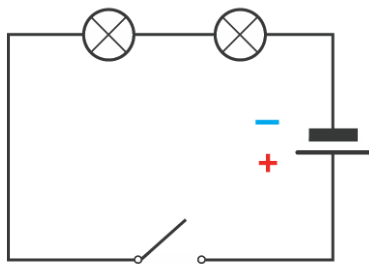
##### UVOD U POKUS:

Električni strujni krug istosmjerne struje je sklop izvora električne energije (baterije), trošila, sklopke i ostalih komponenti spojenih električnim vodovima. Strujne krugove prikazujemo shematski, pri čemu svaki od elemenata strujnog kruga ima svoju, dogovorenu oznaku. Na Slici 4.23. su prikazane oznake najčešće korištenih elemenata strujnog kruga u osnovnoj školi.

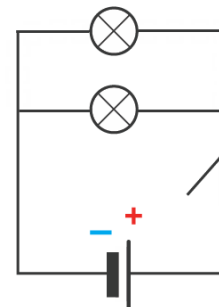


Slika 4.23. Shematski prikaz elemenata strujnog kruga

U strujni krug trošila možemo uključiti više trošila na različite načine. Dva osnovna načina spajanja trošila su serijski i paralelno. U serijskom strujnom krugu, trošila spajamo u seriju, odnosno „jedno za drugim“ (Slika 4.24.). U paralelnom spoju trošila spajamo „jedno na drugo“ (Slika 4.25.).



Slika 4.24. Serijski spoj trošila



Slika 4.25. Paralelni spoj trošila

Kako bi učenici bolje uvježbali spajanje trošila serijski i paralelno, možemo se poslužiti kinestetičkim aktivnostima. Za potrebe sljedeće aktivnosti, učenici će predstavljati dijelove strujnog kruga, a potom će se „spajati“ kako učitelj definira.

#### POTREBNI MATERIJALI:

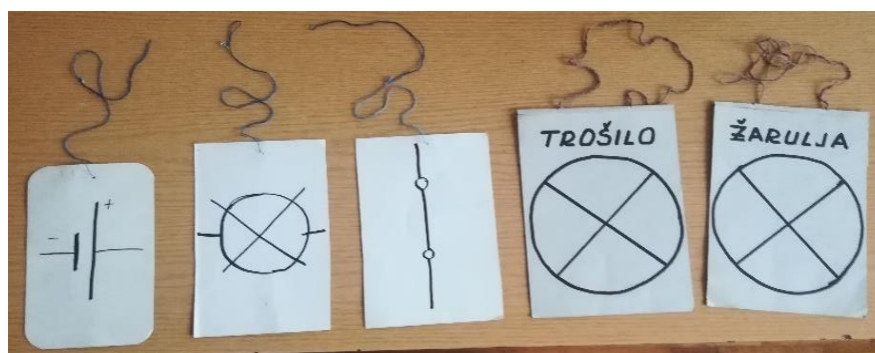
- prazni papiri i flomasteri ili pripremljeni papiri s oznakama elemenata strujnog kruga, ovisno o ciljevima ove aktivnosti

#### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (minimum četiri učenika kako bi se mogao spojiti paralelni i serijski strujni krug s 2 trošila)

#### IZVOĐENJE POKUSA:

Za ovu aktivnost može se pripremiti materijale unaprijed ili ih se može izraditi na satu, uz pomoć učenika. Ukoliko se izrađuju uz pomoć učenika, učenici i na taj način ponavljaju gradivo i pripremaju se za aktivnost. Za izradu materijala potrebni su tvrdi papiri, flomasteri i konci/konopi. Na papire se mogu nacrtati sličice elemenata strujnog kruga (žarulja, baterija, prekidač,...) ili se mogu nacrtati shematske oznake za te elemente strujnog kruga. Također, na papire se mogu napisati nazivi pojedinih elemenata, ali i ne moraju, ovisi koji je cilj ove aktivnosti i kakav je stupanj znanja učenika. Kada se na papire nacrtaju dijelovi strujnog kruga, potrebno je probušiti rupicu, kroz nju provući konac te ovjesiti „znak“. Na Slici 4.26. prikazani su primjeri gotovih materijala.



Slika 4.26. Primjeri gotovih elemenata strujnog kruga

Nakon što su materijali gotovi, učenici ih ovjese oko vrata. Svaki učenik predstavlja jedan element strujnog kruga, a elemente međusobno spajaju tako da se uhvate za ruke. Tako ruke predstavljaju električne vodove. Serijski spoj trošila učenici mogu predočiti tako da stoje jedan pored drugog i uhvate se za ruke (Slika 4.27.), a paralelan spoj mogu napraviti tako da se uhvate jedan drugome za ramena (Slika 4.28.).



Slika 4.27. Serijski spoj trošila - učenici



Slika 4.28. Paralelan spoj trošila - učenici

Učitelj zadaje zadatke, a učenici ih moraju ispunjavati. Na primjer, zadatak može glasiti: „Spojite otvoreni strujni krug sa 5 serijski spojenih trošila.“ Za spajanje tog strujnog kruga, potreban je jedan izvor, otvorena sklopka i 5 trošila. Učenici s tim znakovima se moraju poslagati tako da čine zadani strujni krug.

Ova je aktivnost idealna za usustavljanje znanja o strujnim krugovima. Također, učenici kroz ovu aktivnost mogu shvatiti što se događa odspajanjem jedne žarulje u serijskom spoju trošila, a što u paralelnom spoju trošila.

#### METODIČKE NAPOMENE:

- Ovaj pokus je moguće koristiti prilikom obrade novog gradiva, ali i prilikom ponavljanja/ispitivanja kako bi se provjerila usvojenost znanja i razumijevanje učenika.
- Pokus je vrlo jednostavan i ne zahtjeva puno pripreme niti velik prostor za izvođenje, može se izvoditi ispred ploče u učionici.

## 4.2. Primjeri kinestetičkih pokusa u nastavi astronomije

### 4.2.1. Rotacija i revolucija Zemlje

#### UVOD U POKUS:

Iako nam se čini da prilikom ležanja na krevetu ili sjedenja na stolici, mirujemo, moramo biti svjesni da nismo potpuno u pravu. Stalno smo u gibanju, ako već ne u odnosu na stvari oko nas, gibamo se u odnosu na Sunce i druge planete Sunčeva sustava. Planet Zemlja izvodi nekoliko kretanja, od kojih su najpoznatija rotacija i revolucija.

Rotacija je gibanje Zemlje (a i drugih planeta) oko svoje osi (Slika 4.29.). Zemlja rotira u suprotnom smjeru kazaljke na satu, odnosno od zapada prema istoku. Vrijeme potrebno da Zemlja napravi puni krug oko svoje osi je 24 sata, odnosno jedan puni dan.<sup>[38]</sup> Rotacija Zemlje uzrokuje izmjenu dana i noći.

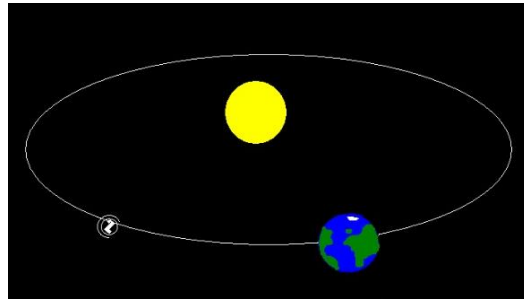


Slika 4.29. Rotacija Zemlje

Revolucija je kretanje Zemlje oko Sunca. Zemlja putuje oko Sunca po eliptičnoj putanji, od zapada prema istoku (Slika 4.30.). Zemljinu putanju možemo zamišljati kao kružnicu jer je ekscentricitet elipse po kojoj se Zemlja giba jako mali pa je ona gotovo jednaka kružnici. Vrijeme potrebno Zemlji da napravi jedan krug oko Sunca je 365 dana, 5 sati, 48 minuta i 46 sekundi. Kretanje Zemlje oko Sunca odvija se po Keplerovim zakonima koji glase:

1. putanje planeta su elipse u čijem se jednom žarištu nalazi Sunce,
2. radijus-vektori planeta u jednakim vremenskim intervalima prebrišu područja jednakih površina (tj. što su planete bliže Suncu, to se brže okreću),

3. kubovi srednjih udaljenosti planeta od Sunca razmjerni su kvadratima njihovih ophodnih vremena.



Slika 4.30. Revolucija Zemlje

#### POTREBNA SREDSTVA:

- balon punjen helijem, poželjno bi bilo da bude žuti ili narančasti (predstavlja Sunce)
- papirići na kojima piše „istok“ i „zapad“ pričvršćeni na štapić tako da ih učenici mogu držati u rukama kao znakove

#### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (može se izvoditi samo s jednim učenicom, a može ih biti i nekoliko)

#### IZVOĐENJE POKUSA:

U ovom pokusu, učenici svojim tijelom predstavljaju planet Zemlju. Prije početka pokusa potrebno je pripremiti znakove koje će učenici držati u rukama, a koji će predstavljati istočnu i zapadnu stranu Zemlje. Također, potrebno je pripremiti balon punjen helijem koji se učvrsti na sredini učionice tako da lebdi na visini od cca. 1m. Učenici se postave u krug oko balona, okrenuti licem prema balonu. Na samom početku učenici ne drže u rukama znakove „istok“ i „zapad“. Uzimaju ih u ruke nakon prvog dijela pokusa, odnosno uvoda u pokus. Na Slici 4.31. prikazan je drugi dio pokusa s učenicima postavljenima u krug oko Sunca dok drže znakove u rukama.<sup>[37]</sup>



Slika 4.31. Učenici postavljeni u krug oko Sunca

Prije početka rotacije učenika oko svoje osi, treba ih podsjetiti da njihovo tijelo predstavlja cijeli planet Zemlju. Potom slijedi rasprava o tome koji dio njihova tijela predstavlja koji dio Zemlje. Tijekom postavljanja pitanja učenicima, nastavnik se može poslužiti globusom, kako bi učenicima bilo lakše vizualizirati što se gdje nalazi.

Primjeri pitanja koje postavlja nastavnik i učeničkih odgovora:

1. Gdje se nalazi sjeverni pol Zemlje? (Učenici trebaju pokazati vrh glave.)
2. Gdje je ekvator? (Učenici trebaju pokazati područje oko struka.)
3. Pretpostavimo da se Sjeverna Amerika nalazi na prsima, koja ruka bi pokazivala istok, a koja zapad? (Lijeva ruka bi pokazivala istok, a desna zapad.)
4. Gdje bi bila Južna Amerika? (Učenici trebaju pokazati ispod Sjeverne Amerike, negdje na truhu.)
5. Koji kontinenti bi bili na leđima? (Europa, Azija, Afrika)
6. Gdje bi bila Australija? (Učenici trebaju pokazati desni bok.) <sup>[37]</sup>

Nakon utvrđivanja položaja pojedinih kontinenata i strana svijeta, učenici u ruke uzimaju znakove koji predstavljaju istok i zapad i postave se u krug oko Sunca kao na Slici 4.31. Nastavnik započinje dio pokusa vezan uz revoluciju Zemlje. Upita učenike koliko je puta Zemlja, tijekom njihovih života, napravila okret oko Sunca. Zajedno zaključe (ili se prisjete ranije naučenog) da je broj njihovih godina ekvivalentan broju okreta Zemlje oko Sunca, odnosno da je potrebna jedna godina kako bi Zemlja jednom obišla oko Sunca. Sada nastavnik zatraži od učenika da se kreću oko Sunca (balona), u smjeru suprotnom od kazaljki na satu, ali na

način da im lice i prsa cijelo vrijeme budu okrenuta prema Suncu (balonu). Nakon što učenici naprave nekoliko krugova oko Sunca, simulirajući vremenski period od nekoliko godina, nastavnik može postaviti sljedeći problem: „Ako se na vašim prsima nalazi Sjeverna Amerika, a vi se gibate na način na koji ste prikazali, hoće li u Americi ikada biti noć?“. Pokušavajući navesti učenike na ispravan odgovor, a samim time i osvijestiti ih da osim revolucije postoji i rotacija Zemlje, nastavnik postavlja i sljedeća pitanja: „Koje doba dana je, prilikom vašeg gibanja bilo prisutno u Sjevernoj Americi, tijekom nekoliko godina koje ste gibanjem prikazali? Što biste morali učiniti s vašim tijelima, kako biste u Sjevernoj Americi napravili noć? Bi li rotacija vašeg tijela, oko zamišljene osi koja probada uzdužno vaše tijelo, od tjemena do stopala, mogla uzrokovati pojavu noći u Sjevernoj Americi?“. Nakon ove rasprave, učenici zaključuju da mora postojati i rotacija Zemlje, ali još nisu sigurni okreće li se Zemlja u smjeru kazaljke na satu, ili suprotno od smjera kazaljke na satu. U nastavku su dani primjeri pitanja koja nastavnik može postaviti učenicima i točni odgovori, do koji bi trebalo doći nakon rasprave s učenicima.

Primjeri pitanja koje postavlja nastavnik i učeničkih odgovora:

1. Na kojoj strani svijeta nam se čini da Sunce izlazi, a na kojoj zalazi? (Izlazi na istoku, a zalazi na zapadu.)
2. Dok ste okrenuti prema Suncu (Slika 4.32.), koliko bi sati bilo duž linije koja prolazi središtem vašeg tijela od glave do nogu (pokazati učenicima liniju koja prolazi središtem Sjeverne Amerike)? (Bilo bi podne.)



Slika 4.32. Učenici okrenuti prema Suncu (podne)

3. Dok ste okrenuti od Sunca (Slika 4.33.), koliko bi sada sati bilo duž linije koja prolazi središtem prednjeg tijela vašeg tijela od glave do nogu ? (Bila bi ponoć.)



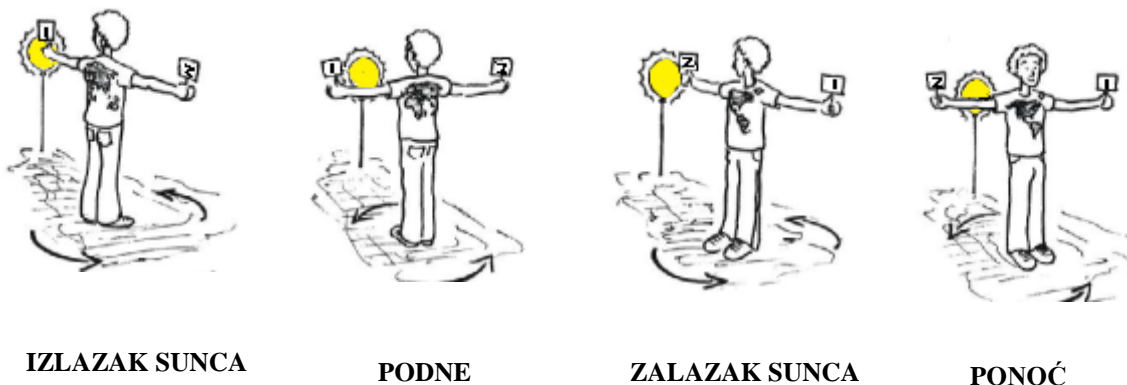


Slika 4.33. Učenici okrenuti od Sunca (ponoć)

4. Dok su učenici još u toj poziciji, pitati ih: „Koliko je sati duž linije koja prolazi središtem vaših leđa, od glave do pete (pokazati liniju)?“. (Podne je.)
5. Okrenite se tako da vam istočna strana bude okrenuta prema Suncu. Koje je sada doba dana duž linije koja prolazi prednjim dijelom vašeg tijela od glave do pete? (zora, izlazak Sunca)
6. Okrenite se tako da vam zapadna strana bude okrenuta prema Suncu. Koje je sada doba dana duž linije koja prolazi prednjim dijelom vašeg tijela od glave do pete? (suton, zalazak Sunca)

Sada se učenici vraćaju u „poziciju ponoći“ (licem okrenuti od Sunca), a nastavnik ih upita: „Možete li sada zaključiti, na koju se stranu Zemlja mora rotirati da bi nam Sunce izlazilo na istoku, a zalazilo na zapadu? U smjeru kazaljke na satu (pločica zapad ide prema istoku) ili u smjeru suprotnom od kazaljke na satu (pločica istok ide prema zapadu)?“. Nakon što nastavnik postavi ovo pitanje učenicima, bilo bi dobro pustiti ih neko vrijeme da sami dođu do zaključka, koristeći metodu pokušaja i pogrešaka. Učenici mogu prodiskutirati sa susjedom i provjeriti jesu li im zaključci jednaki. Na posljetku učenici zaključuju da se moraju okretati u smjeru suprotnom od kazaljke na satu.

Za kraj ovog pokusa, svi zajedno, uz vođenje nastavnika, imitiraju Zemljinu rotaciju tijekom jednog dana. Na Slici 4.34. su prikazani položaji učenika u četiri karakteristična doba dana. Potom učenici mogu pokušati istovremeno raditi i rotaciju i revoluciju, tj. rotirati oko vlastite osi i oko Sunca (balona) po ucrtanoj kružnoj putanji. <sup>[36]</sup>



Slika 4.34. Položaji učenika u četiri karakteristična doba dana

#### METODIČKE NAPOMENE:

- Neki učenici mogu imati problema s vizualizacijom Zemlje i njene rotacije. Stoga bi bilo poželjno imati globus (ili maketu Zemlje), postavljati ga u iste položaje u kojima će biti učenici, odnosno rotirati ga istovremeno kada rotiraju i učenici te time olakšati učenicima u vizualiziranju i odgovaranju na pitanja.
- Ukoliko nastavnik smatra da je učenicima preteško vizualizirati pozicije kontinenata na njihovom tijelu, učenici mogu od papira izrezati kontinente te ih, tijekom izvođenja pokusa i razgovora s nastavnikom, polijepiti na odgovarajuće pozicije na odjeći.
- Osim u astronomiji, ovaj kinestetički pokus može se koristiti i za nastavu geografije, prilikom učenja kontinenata i strana svijeta
- Umjesto balona se može koristiti žarulja, na taj će način još vjernije biti prikazano Sunce.
- Inačicu ovog pokusa, kao i mnoge druge kinestetičke pokuse iz astronomije, naveli su Cherilynn Morrow i Michael Zawaski.<sup>[37]</sup>
- Na sličan se način, s učenicima mogu prikazati pomrčina Sunca i pomrčina Mjeseca.

#### 4.2.2. Ljeto i zima

##### POTREBNA SREDSTVA:

- balon punjen helijem, poželjno bi bilo da bude žuti ili narančasti (predstavlja Sunce) ili žarulja
- oznaka na stropu koja predstavlja zvijezdu Sjevernjaču

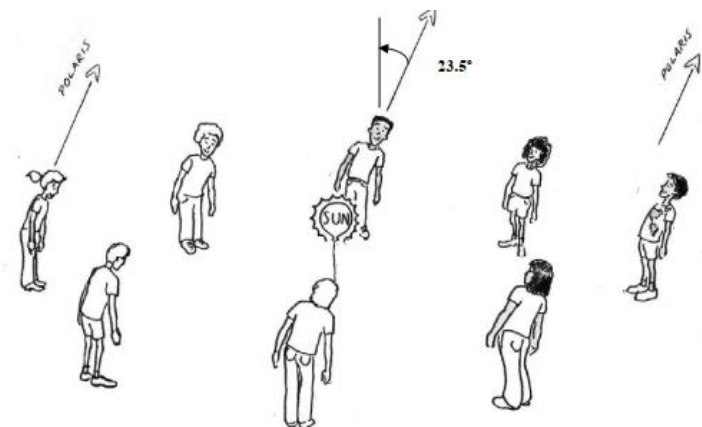
##### SUDIONICI POKUSA:

- učenici (može se izvoditi samo s jednim učenikom, ali bilo bi bolje da ih je više)

##### IZVOĐENJE POKUSA:

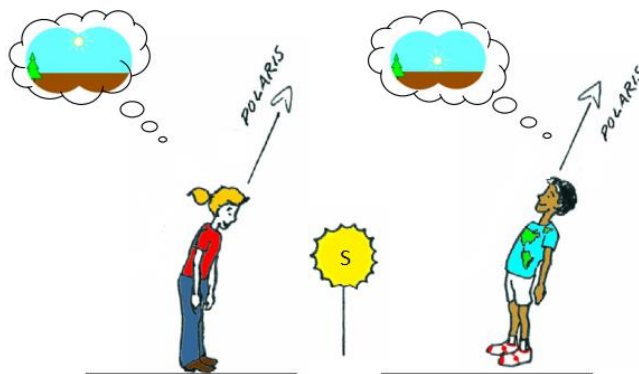
Prije samog izvođenja pokusa, može se na stropu postaviti neku oznaku koja će predstavljati zvijezdu Sjevernjaču (Polarnu zvijezdu, lat. *Polaris*), ali može se izabrati i neku postojeću oznaku na stropu (npr. stropnu lampu). Sjevernjača (Alfa Maloga medvjeda) je zvijezda smještena vrlo blizu sjevernom nebeskom polu. Ona je gotovo u potpunosti nepomična na nebeskoj sferi, zbog čega se i koristi za orijentaciju. Prije izvođenja pokusa potrebno je pripremiti i balon punjen helijem koji se učvrsti na sredini učionice tako da lebdi na visini od otprilike 1m.

Učenici se postave u krug oko balona, okrenuti licem prema balonu. Svatko od njih predstavlja planet Zemlju, ali u drugačijim položajima putanje oko Sunca. S obzirom da je sjeverni pol Zemlje orijentiran prema zvijezdi Sjevernjači, učenici se trebaju nagnuti tako da svoj „sjeverni pol“, odnosno vrh glave, okrenu prema oznaci na stropu. Trebali bi se postaviti kao na Slici 4.35. <sup>[37]</sup>



Slika 4.35. Učenici okrenuti prema zvijezdi Sjevernjači

Nastavnik treba pojasniti učenicima da svi moraju biti usmjereni u jednu točku na stropu, prema zvijezdi Sjevernjači, ali da nisu svi nagnuti jednako u odnosu na Sunce. Svakome od njih čini se kao da je Sunce na drugom mjestu na nebu, odnosno, što su više nagnuti prema Suncu, to je sunce više na nebu (Slika 4.36.). Možemo zamisliti i da čela učenika na slici predstavljaju sjevernu hemisferu Zemlje u dva različita položaja Zemlje prilikom obilaska oko Sunca, dok brade predstavljaju južnu hemisferu. U položaju u kojem se nalazi djevojka, sjeverna hemisfera je više nagnuta prema Suncu, odnosno Sunce ima viši položaj na nebu pa shodno tome i Sunčeve zrake u ovom slučaju padaju okomitije na površinu sjeverne hemisfere. Stoga, velika količina Sunčeve energije pristiže na sjevernu hemisferu (čelo djevojke), što uzrokuje pojavu ljeta. Suprotno tome, sjeverna hemisfera dječaka (čelo dječaka) manje je izloženo upadu Sunčevih zraka (zrake padaju na površinu pod šiljastim kutom, gotovo kao da će okrnuti čelo) te u tom slučaju ne uspijevaju zagrijati površinu te uzrokuju pojavu zime. Naravno, na južnoj hemisferi kod djevojke (brada djevojke) prisutna je zima, a na južnoj hemisferi kod dječaka (brada dječaka) prisutno je ljeto.



Slika 4.36. Drugačiji položaji Sunca

Kada se učenici poslože kao što je prikazano na Slici 4.35, svatko od njih predstavlja Zemlju u drugom položaju na putanji oko Sunca. Nastavnik i učenici, kroz raspravu i razgovor, zaključuju kod kojeg je učenika sada ljeto na sjevernoj hemisferi, a kod kojeg zima. Također, mogu prodiskutirati kod kojih učenika su prisutni proljeće i jesen i iz kojeg razloga. <sup>[36]</sup>

Moguća dodatna pitanja nastavnika: „Mi živimo u Europi, koja se nalazi na sjevernoj hemisferi. Pretpostavimo li da se Zemlja nalazi u položaju u kojem je djevojka na Slici 4.36., hoćemo li mi u Hrvatskoj tada imati ljeto ili zimu? Koje godišnje doba je tada prisutno u Australiji? Ukoliko se

Zemlja nalazi u položaju u kojem je dječak, koje godišnje doba vlada u Europi, a koje u Australiji?“.

## 5. Zaključak

Učenici stvaraju osobni mentalni model određenog fizičkog koncepta pod utjecajem formalne edukacije, kulturnog okruženja i izravnog iskustva. Budući da je nemoguće sve različite situacije iskusiti opažanjem, kinestetički su pokusi dobar način za simulirati situaciju koja će doprinijeti učenju izravnim iskustvom. Tako učenici mogu (glumom) iskusiti kako je to biti čestica, atom, ion, Zemlja... To može uvelike olakšati razumijevanje pojedinih pojava, a zatim i unaprijediti proces učenja.

Kinestetički pokusi poprimaju sve veću ulogu u nastavi fizike jer, osim što pospješuju stvaranje fizičkih koncepata, potiču i tjelesnu aktivnost. Tjelesna aktivnost ima brojne koristi za učenike, kao što su poboljšanje funkcije mozga, poboljšanje cirkulacije, smanjenje stresa, te poboljšanje epizodičkog pamćenja, a osim toga olakšava i proces učenja učenicima s izraženim kinestetičkim tipom učenja.

Autorica rada se nada kako će nakon čitanja ove radnje nastavnici fizike, ali i drugih prirodoslovnih predmeta, uvidjeti prednosti korištenja kinestetičkih pokusa u nastavi i da će biti motivirani za njihovu primjenu u poučavanju prirodoslovlja.

## 6. Literatura

- [1] M. Matijević, L. Bognar, *Didaktika*, Školska knjiga, Zagreb, 2005.
- [2] V. Poljak, *Didaktika*, Školska knjiga, Zagreb, 1990.
- [3] M. Matijević, T. Topolovčan, *Multimedijska didaktika*, Školska knjiga, Učiteljski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2017.
- [4] A. Peko i R. Varga, *Active learnings in classrooms*, Život i škola, vol. LX, br. 31, str. 59-73, 2014. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/125296> (Preuzeto: 22.12.2019.)
- [5] K. Yilmaz, *Constructivism: Its theoretical underpinnings, variations, and implications for classroom instruction*, Educational Horizons, 86(3), str. 167-168, 2008
- [6] C. Kyriacou, *Temeljna nastavna umijeća*, Educa, Zagreb, 1997.
- [7] V. Kostović-Vranješ, *Metodika nastave prirodoslovnog područja*, Školska knjiga, Zagreb, 2015.
- [8] *Gardnerov model višestrukih inteligencija*, 10. 12. 2010., Virtograd, <http://www.virtograd.com/blog/gardnerov-model> (Preuzeto: 22.12. 2019. )
- [9] T. Armstrong, *Višestruke inteligencije u razredu*, Educa, Zagreb, 2006.
- [10] M. Posavec, *Višestruke inteligencije u nastavi*, Život i škola, vol. LVI, br. 24, str. 55-64, 2010. Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/63278> (Preuzeto: 3.1.2020.)
- [11] R. Krsnik, *Suvremene ideje u metodici nastave fizike*, Školska knjiga, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- [12] A. Svedružić, *Demonstracijski pokus u nastavi fizike*, Metodika fizike, vol. 9, br.2, str 337-344, 2006.
- [13] R. Jurdana Šepić, B. Miličić, *Metodički pokusi u nastavi fizike*, Filozofski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.
- [14] A. J. Richards, *Teaching mechanics using kinesthetic learning activities*, The Physics Teacher 57, 35, 2019.

- [15] *Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health*, WHO, <https://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/en/> (Preuzeto: 20.7.2019.)
- [16] C. Hannaford, *Pametni pokret*, Ostvarenje d.o.o., Buševac, 2007.
- [17] J. Ratey, *Run, Jump, Learn! How Exercise can Transform our Schools*, 18. 11. 2012., <http://www.johnratey.com/>(Preuzeto: 27.12. 2019.)
- [18] Wiley-Blackwell, *Physically Fit Kids Do Better In School*, ScienceDaily, <https://www.sciencedaily.com/releases/2009/01/090128113246.htm> (Preuzeto: 27.12.2019.)
- [19] M. Kutzala, *The Kinesthetic Classroom: Teaching and Learning through Movement*, SHAPE America National Convention, 2015.
- [20] Meghan M, Jessie, Ashton, Megan O, Mallorie, *Educational methods*, <https://educationalmethodseps.weebly.com/kinesthetic.html> (Preuzeto: 12.7.2019.)
- [21] I. Poljančić Beljan, M. Blečić, *Igrajmo se atoma!*, radionica STEM2 Rijeka, 15. 11. 2019. [https://stemrijeka.files.wordpress.com/2019/11/2019-11-08-program-stem-danas-za-sutra-2-2019\\_finalno.pdf](https://stemrijeka.files.wordpress.com/2019/11/2019-11-08-program-stem-danas-za-sutra-2-2019_finalno.pdf) (Preuzeto: 19. 1. 2020.)
- [22] I. Poljančić Beljan, M. Blečić, „Čarobni dan!“, Dječji vrtić Đurđice, Rijeka, <http://www.skc.uniri.hr/carobni-dan-aktivnosti-kroz-listopad-i-studeni-2019/>
- [23] *Što je val*, <https://sites.google.com/site/valoviosnovnaskola/sto-je-val> (Preuzeto: 20.12.2019.)
- [24] M. Blečić, I. Poljančić Beljan, R. Jurdana-Šepić, *Kinestetički pokusi u nastavi fizike*, Časopis Udruge kineziologa Rijeka, br. 41., str. 22-26, 2019.
- [25] R. Kurtus, *Theories of matter*, dostupno na: [https://www.school-for-champions.com/science/matter\\_theories.htm#.XdV96dV7nIU](https://www.school-for-champions.com/science/matter_theories.htm#.XdV96dV7nIU) (Preuzeto: 20.12.2019.)
- [26] *Tlak idealnog plina*, Edutorij, dostupno na: [https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/91daeb6-b12a-48bb-982a-1c3614971f62/html/1238\\_Tlak\\_idealnog\\_plina.html](https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/91daeb6-b12a-48bb-982a-1c3614971f62/html/1238_Tlak_idealnog_plina.html) (Preuzeto: 15.12.2019.)
- [27] Hrvatska enciklopedija, dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=48747> (Preuzeto: 15.12.2019.)



- [28] K. Gibbs, *Electric Current*, dostupno na: [http://www.schoolphysics.co.uk/age11-14/Electricity%20and%20magnetism/Current%20electricity/text/Electric\\_current/index.html](http://www.schoolphysics.co.uk/age11-14/Electricity%20and%20magnetism/Current%20electricity/text/Electric_current/index.html) (preuzeto: 15.12.2019.)
- [29] Edutorij, dostupno na: <https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/8d4144e4-a678-49f7-86f0-2a128fffd8f6/html/pojmovnik.html> (preuzeto: 18.12.2019.)
- [30] Hrvatska enciklopedija, dostupno na: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=30891> (preuzeto: 18.12.2019.)
- [31] M. Bracić, *Električna struja*, Sve je fizika, dostupno na: <https://svejefizika.wordpress.com/video-8/elektricna-struja/> (preuzeto: 18.12.2019.)
- [32] *Električna struja u metalima i elektrolitima*, Eduvizija, dostupno na: [http://www.eduvizija.hr/portal/lekcija/8-razred-fizika-elektricna-struja-u-metalima-i-elektrolitima#tekst\\_lekcije](http://www.eduvizija.hr/portal/lekcija/8-razred-fizika-elektricna-struja-u-metalima-i-elektrolitima#tekst_lekcije) (preuzeto: 18.12.2019.)
- [33] Chemicool dictionary, dostupno na: [https://www.chemicool.com/definition/electrical\\_resistance.html](https://www.chemicool.com/definition/electrical_resistance.html) (preuzeto: 18.12.2019.)
- [34] The Physics Classroom, dostupno na: <https://www.physicsclassroom.com/Class/circuits/u9l4b.cfm> (preuzeto: 19.12.2019.)
- [35] E-sfera, *Spajanje trošila u strujnom krugu*, dostupno na: <https://www.e-sfera.hr/dodatni-digitalni-sadrzaji/7c0812da-0c9e-402a-a0e6-3fc00aa85373/> (preuzeto: 19.12.2019.)
- [36] M. Ferk, *Demonstracijski pokusi u nastavi fizike: Bernoullijeva jednadžba*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 2016.
- [37] C. Morrow, M. Zawaski, *Kinesthetic astronomy*, Colorado, 2004.
- [38] Geografija za sve, *Zemljina kretanja*, dostupno na: <https://geografijzasve.me/2017/09/01/zemljina-kretanja/> (preuzeto: 5.1.2020.)
- [39] M. Kuczala, *The kinesthetic classroom: Teaching and learning through movement*, dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=41gtxgDfY4s> , (preuzeto: 5.1.2020.)

## 7. Popis slika

Slika 2.1. Didaktički trokut

Slika 2.2. Teorija višestrukih inteligencija

Slika 3.1. Izvori stvaranja učenčkih koncepata

Slika 4.1. Transverzalni val na opruzi

Slika 4.2. Longitudinalni val na opruzi

Slika 4.3. Demonstracija transverzalnog vala s pripadnim QR kodom

Slika 4.4. Demonstracija longitudinalnog vala s pripadnim QR kodom

Slika 4.5. Demonstracija odbijanja vala od prepreke s pripadnim QR kodom

Slika 4.6. Model kristalne rešetke natrijeva klorida

Slika 4.7. Demonstracija međumolekulskih veza kod krutina (suha krpa) s pripadnim QR kodom

Slika 4.8. Demonstracija međuatomskih veza kod tekućina (mokra krpa) s pripadnim QR kodom

Slika 4.9. Učenici kao "čestice plina" u ograđenom prostoru

Slika 4.10. Otvaranje "posude" i izlazak "čestica plina"

Slika 4.11. Kristalna rešetka metala

Slika 4.12. Kristalna rešetka metala spojenog na izvor električne energije

Slika 4.13. Kaotično gibanje slobodnih elektrona između iona – učenici

Slika 4.14. Kaotično gibanje slobodnih elektrona između iona – učenici

Slika 4.15. Usmjereno gibanje slobodnih elektrona između iona – učenici

Slika 4.16. Učenici kao molekule NaCl prije „ubacivanja“ u vodu

Slika 4.17. Učenici kao ioni  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  nakon „ubacivanja“ u vodu s pripadnim QR kodom

Slika 4.18. Učenici kao ioni  $\text{Na}^+$  i  $\text{Cl}^-$  nakon „uranjanja“ elektroda s pripadnim QR kodom

Slika 4.19. Otpor na cestama

Slika 4.20. Učenici predstavljaju fiksne ione u kristalnoj rešetci metala

Slika 4.21. Električna struja teče metalom - učenici

Slika 4.22. Fiksni ioni pružaju otpor prolasku električne struje s pripadnim QR kodom

Slika 4.23. Shematski prikaz elemenata strujnog kruga

Slika 4.24. Serijski spoj trošila

Slika 4.25. Paralelni spoj trošila

Slika 4.26. Primjeri gotovih elemenata strujnog kruga

Slika 4.27. Serijski spoj trošila - učenici

Slika 4.28. Paralelan spoj trošila - učenici

Slika 4.29. Rotacija Zemlje

Slika 4.30. Revolucija Zemlje

Slika 4.31. Učenici postavljeni u krug oko Sunca

Slika 4.32. Učenici okrenuti prema Suncu (podne)

Slika 4.33. Učenici okrenuti od Sunca (ponoć)

Slika 4.34. Položaji učenika u četiri karakteristična doba dana

Slika 4.35. Učenici okrenuti prema zvijezdi Sjevernjači

Slika 4.36. Drugačiji položaji Sunca