

UNIVERZITET U NIŠU

PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET, NIŠ

MASTER RAD

Konceptualni testovi u nastavi mehanike

Student:

Lazar RADENKOVIĆ

broj indeksa: 12

Mentor:

Prof. dr Ljubiša NEŠIĆ

Niš, oktobar 2014.

Zahvaljujem se svima koji su mi, na manje ili više direktan način, pomogli u izradi ovog rada.

Sadržaj

1	Uvod	5
1.1	Napomene	5
1.2	Sažetak	6
1.3	Definicije osnovnih pojmova	6
1.4	Značaj učeničkih predubedenja	7
1.5	Razvoj i značaj konceptualnih testova	9
2	Osnovni parametri testova	13
2.1	Upotreba konceptualnih testova	13
2.2	Opšti zahtevi	15
2.3	Statistička obrada testova	15
2.4	Način postavke problema	18
2.5	Uticaj uslova testiranja	21
2.6	Opšti postupak izrade konceptualnog testa	22
3	Konceptualni test Galilejeve relativnosti	25
3.1	Teorijska razmatranja	26
3.1.1	Inercijalni i neinercijalni sistemi reference	27
3.1.2	Galilejeva relativnost	28
3.1.3	Neinercijalni sistemi reference i inercijalne sile	28
3.2	Osnovne zablude	30
3.3	Konceptualni test	34
4	Otklanjanje zabluda	37
4.1	Opšte napomene	37
4.2	Konkretni saveti za poboljšanje nastave	38
4.3	Uloga demonstracija	39
5	Zaključak i dalja istraživanja	43
	Literatura	45

Glava 1

Uvod

1.1 Napomene

U ovom master radu dat je osvrt na značaj učeničkog intuitivnog znanja za nastavu fizike, predstavljen je konceptualni test kao instrument za merenje ovog znanja i date su neke bitne napomene za prevazilaženje učeničkih zabluda.

Velika pažnja posvećena je tome da ovaj rad ima upotrebnu vrednost – bilo da je čitalac nastavnik ili student. Nastavnici će naći dovoljno korisnih, konkretnih i praktičnih saveta koje bi odmah mogli da primene na svojim predavanjima da bi ih poboljšali. S druge strane, nadam se da će ovaj rad biti koristan i studentima koji su zainteresovani za metodiku nastave fizike jer sadrži objašnjenja teorijskog karaktera, osnovnu metodologiju rada i način razmišljanja u pedagoškim istraživanjima.

Takođe, želeo sam da ovim radom dam i neki originalan doprinos u naučnom smislu, ma koliko mali on bio, formulisanjem konceptualnog testa za merenje intuitivnog znanja učenika za oblast Galilejeve relativnosti¹.

U većem delu rada podrazumeva se da su osnovne ciljne grupe za primenu ovih testova srednjoškolci završnih godina ili studenti koji slušaju nastavu opšte fizike na fakultetu. Vredi napomenuti da su u ovom radu pojmovi učenik-student i nastavnik-profesor korišćeni kao sinonimi i da nije pravljena nikakva razlika u upotrebi testova i primeni zaključaka u srednjim školama i fakultetima.

Iako je ovde akcenat stavljen na nastavu mehanike, izvedeni zaključci su dovoljno opšti da važe i za druge oblasti fizike, kao i za druge oblasti nauke.

¹Definisanje pojmova, odgovarajuće teorijsko razmatranje, klasifikacija najčešćih učeničkih zabluda i predstavljanje testa izvršeno je u glavi 3.

1.2 Sažetak

U uvodnom delu rada date su definicije osnovnih pojmova i značaj učeničkih predubedenja i, u vezi sa tim, značaj konceptualnih testova. Upravo u velikom značaju učeničkog intuitivnog znanja leži motivacija za obradu ove teme.

Nakon toga, razmotreni su osnovni parametri konceptualnih testova: *a)* za šta se upotrebljavaju; *b)* koje uslove moraju da zadovolje da bi bili pouzdani merni instrumenti; *c)* kako statističkim metodama dokazati njihovu pouzdanost; *d)* o čemu treba voditi računa pri formulisanju pitanja; *e)* kako uslovi testiranja utiču na rezultate; *f)* koji je uopšten postupak izrade konceptualnog testa.

Nakon toga, izvršeno je konkretno razmatranje učeničkih zabluda u oblasti Galilejeve relativnosti i predstavljen je konceptualni test za ovu oblast.

U narednom poglavlju razmotreno je kako otkloniti učeničke zablude, a posebna pažnja posvećena je diskusiji o demonstriranju fizičkih pojava u nastavi, koje su za fiziku naročito važne.

Konačno, u poslednjem poglavlju, dati su najopštiji zaključci rada i teme koje mogu biti predmet daljih istraživanja.

1.3 Definicije osnovnih pojmova

Pod učeničkim zdravorazumskim, *intuitivnim*, konceptualnim znanjem podrazumeva se skup uverenja o fizičkim pojavama koje su učenici formirali kroz sopstveno iskustvo [1]. Kroz ovaj skup uverenja učenik interpretira svoje celokupno iskustvo, prošlo i buduće, uključujući i svoje obrazovanje. Zbog toga je učeničko intuitivno znanje važan faktor za razumevanje fizike, ali, u okviru tradicionalne nastave fizike, nastavnici ovo retko uzimaju u obzir.

Pod *tradicionalnom nastavom* u ovom radu se podrazumeva nastava *a)* u okviru razredno-časovnog sistema; *b)* u kojoj je zastupljen frontalni oblik rada, gde se nastavnik istovremeno obraća velikom broju učenika; *c)* u kojoj nastavnik drži predavanje (monološki metod rada) i aktivniji je od učenika koji samo prate izlaganje.

Konkretna uverenja koja su učenici stekli pre odgovarajuće nastave fizike nazivaju se pretkonceptijama. S obzirom na to da su one često u sukobu sa aktuelnim (prihvaćenim) fizičkim teorijama, u našem govornom području se pod pretkonceptijama podrazumevaju pogrešne koncepcije, zasnovane na pogrešnom shvatanju sveta, koje nisu u skladu sa prihvaćenim naučnim teorijama [2]. Verovatno bi adekvatniji termin bio pogrešna koncepcija, od en-

gleske reči *misconception*, jer učeničke pretkonceptije ne moraju nužno biti pogrešne, iako uglavnom jesu. U ovom radu će, u duhu srpskog jezika, biti korišćeni termini *zabluda*, kao ekvivalent termina pogrešna koncepcija, i *predubeđenje*, kao ekvivalent termina pretkonceptija.

Konceptualni test je test kojim se procenjuje u kojoj meri je učenik usvojio određene (fizičke) koncepte. Test sadrži unapred ponuđene odgovore, pri čemu su netačni odgovori namerno izabrani tako da predstavljaju najčešće učeničke zablude. Po pravilu ne sadrže matematička izračunavanja ili su ona svedena na minimum. Fokus ovog rada su konceptualni testovi u fizici, u oblasti mehanike, no vredi reći da su razvijeni različiti testovi i u drugim oblastima fizike (elektromagnetizam, talasi, termodinamika, kvantna mehanika itd.), kao i u drugim naukama (matematika, statistika, hemija, biologija itd.).

1.4 Značaj učeničkih predubeđenja

Postoje dva generalna zaključka o učeničkim predubeđenjima [1]:

1. Ona su u suprotnosti sa Njutnovom mehanikom.
2. Ona su veoma stabilna.

Naime, sva predubeđenja zasnovana su ili na svakodnevnom iskustvu učenika ili na sadržajima srodnih predmeta koje su učenici slušali². Zbog toga su se predubeđenja, u očima učenika, već pokazala kao ispravna. Ona su, dakle, na izvestan način eksperimentalno potvrđena, pa ih treba tretirati kao alternativne naučne hipoteze koje treba odbaciti i zameniti odgovarajućim njutnovskim pogledom na svet. Današnja učenička predubeđenja istovetna su stavovima koje su u ranijem istorijskom periodu zastupali mnogi naučnici (uključujući i velikane poput Galileja i Njutna). Ova sličnost u shvatanjima proizlazi iz toga što pomenute zablude deluju kao veoma “logična” posledica svakodnevnog iskustva.

Dakle, pogrešna predubeđenja nisu samo trivijalne greške koje slede iz učeničkog neznanja, ona su, naprotiv, čvrsti učenički stavovi koji su formirani na osnovu iskustva. U tom smislu, situacija je zapravo jednostavnija kada učenici nemaju nikakvo znanje iz date oblasti jer su onda “tabula rasa”. U slučaju mehanike, koja je jako bliska iskustvu, situacija je teža jer učenici

²Na primer, pre nastave fizike u osnovnoj školi, učenici su se već susreli sa određenim fizičkim pojmovima u okviru predmeta “Svet oko nas” i, kasnije, “Poznavanje prirode”.

već imaju izgrađene stavove koje prvo treba otkloniti³, pa tek onda implementirati njutnovske koncepte.

Prilikom testiranja, jedan učenik je postavio pitanje koje savršeno ilustruje ukorenjenost zabluda i nisku efikasnost tradicionalne nastave [3]: “Kako želite da odgovorim na ova pitanja? Onako kako ste nas učili ili kako ja *misl*im?”

Ovo je veoma ozbiljan problem. Konzistentno nizak učinak na konceptualnim testovima pokazuje da učenici često nemaju njutnovski pogled na svet. Da stvari budu još gore, testiranje nedvosmisleno pokazuje koliko su ove zablude rasprostranjene u populaciji i koliko duboko su ukorenjene u pojedincu. U radu [1] ukazano je na veoma važnu posledicu ignorisanja učeničkih predubedenja i zabluda u tradicionalnoj nastavi. Ako se takve zablude ne otklone u toku nastave, učenik neće moći da adekvatno savlada predviđeni materijal predmeta. Ne samo to, on će svoje zablude braniti koristeći naučni žargon, odajući lažni utisak da je nešto zapravo naučio. Na primer, u literaturi je potvrđeno (prema [4]) da je zabluda o tome da konstantna sila izaziva kretanje konstantnom *brzinom* prisutno kod učenika od 13 godina, pa sve do fakulteta. Iako je reč o istovetnoj zabludi, “stariji studenti prosto umeju da bolje verbalizuju svoje [teorije] od mlađih studenata.”

Dodatna otežavajuća okolnost je to što zablude deluju podjednako primamljivo nastavnicima koliko i samim učenicima. Istraživanja (prema [4]) pokazuju da na uzorku od preko 450 nastavnika koji su izvodili nastavu u oblasti prirodnih nauka za decu od 5 do 11 godina, gotovo nijedan nije pravilno razumeo pojmove sile i kretanja. Takođe, jasno definisani pojmovi u fizici (sila, kretanje, brzina...) u svakodnevnom govoru ili u govoru nastavnika biologije, hemije i sl. često imaju drugačije značenje i to dodatno zbunjuje učenike.

Uzimajući u obzir nastavu fizike i njene obrazovne ciljeve, nas zanima u kojoj će meri uspeh učenika u okviru predmeta zavisiti od njegovog predznanja. Ova procena se može izvršiti statističkom korelacijom rezultata na predtestu sa ostvarenom ocenom iz datog predmeta. Na osnovu ove korelacije se u [1] došlo do sledećih zaključaka:

1. Predtest rezultati su konzistentni na različitim populacijama učenika. Ovo je naknadno provereno na mnogo većem uzorku nego u citiranom radu. Naime, konceptualni testovi su, zahvaljujući svom kvalitetu i popularnosti, već više decenija u upotrebi, pa ih je radilo mnogo studenata i učenika širom sveta⁴. Čak i na ovako velikom – global-

³Možda je primerenije reći “iščupati”, uzimajući u obzir koliko su ovi učenički stavovi jako ukorenjeni.

⁴Za više informacija o testiranju učenika u našoj zemlji možete konsultovati [2], a u

nom uzorku, rezultati testa su konzistentni. Takođe, razlike u polu (muški/ženski), godištu, izabranom smeru i obimu matematičkog predznanja iz srednje škole nisu imale nikakav efekat na rezultat, dok je prethodno obrazovanje imalo vrlo mali efekat.

2. Uspeh na konceptualnom testu iz fizike nezavisan je od uspeha iz matematike.
3. Rezultat na konceptualnom predtestu je najznačajniji faktor za predviđanje uspeha učenika u okviru datog predmeta.

Ono što je naročito poražavajuće za nastavu fizike je činjenica da tradicionalna nastava ima mali učinak na poboljšanje osnovnog znanja učenika. Takođe, iznenađuje zaključak da je porast konceptualnog razumevanja praktično nezavisan od predavača! U radu [1], analizirani su rezultati četiri profesora sa veoma različitim stilom predavanja na osnovu razlika u rezultatima na post- i predtestu. Ispostavilo se da su svi profesori imali isti učinak i on je bio veoma mali – rezultat na post-testu bio je za oko 13% veći od inače katastrofalno lošeg rezultata na predtestu od oko 50% tačnih odgovora za bruce. Ovde treba napomenuti da su, po mišljenju i studenata i kolega, sva četiri profesora važili za odlične predavače. Pri tome je jedan od profesora dva puta dobio nagradu za izvanredna predavanja i imao je puno ogleđa i demonstracija u okviru svojih predavanja⁵. Deluje neverovatno da izvanredna nastava prepuna demonstracija može imati tako mali učinak na konceptualno znanje učenika. Neminovni zaključak je da su predavanja koja ne uzimaju u obzir učenička predubedenja uzaludna. Ako učenicima nedostaje konceptualno razumevanje gradiva čak i učenje fizike postaje “bubanje”.

Može se reći sledeće:

1. Učenička predubedenja su suprotna njutnovskom poimanju sveta.
2. Tradicionalna nastava fizike ima mali uticaj na korekciju predubedenja.
3. Ovaj uticaj je nezavisan od predavača i načina predavanja.

1.5 Razvoj i značaj konceptualnih testova

Uzimajući u obzir značaj konceptualnog razumevanja gradiva i učeničkih predubedenja u nastavi fizike, osamdesetih godina XX veka počelo se sa pažljivim proučavanjem ove metodičke teme. U tu svrhu razvijeni su i

Hrvatskoj [5] i [6].

⁵Više reči o ulozi demonstracija u nastavi fizike biće u odeljku 4.3.

odgovarajući konceptualni testovi za različite oblasti fizike. Prvi i svakako najznačajniji test konceptualnog znanja je FCI – *Force Concept Inventory* test [7] (u direktnom prevodu: Popis koncepata u oblasti sila; u slobodnijem prevodu: Test konceptualnog razumevanja pojma sile u mehanici). Ovaj test je nastao kao MBT – *Mechanic Baseline Test*, a zatim je godinama unapređivan, prerastavši u FCI⁶.

Današnja verzija testa ima 30 pitanja sa unapred ponuđenim odgovorima od kojih se učenik odlučuje za jedan. Prvobitne verzije ovog testa, pak, zahtevale su od učenika duže pisane odgovore. Na osnovu njih su uočene najčešće zablude koje su se, kao alternativni odgovori, našle u konačnoj verziji testa (sa ponuđenim odgovorima).

Valjanost testa potvrđena je na osnovu [1]: *a*) konsultacija sa mnogobrojnim profesorima i svršenim studentima fizike (i uključivanjem njihovih sugestija); *b*) saglasnosti o ispravnosti ponuđenih tačnih odgovora; *c*) intervjuisanja određenog broja studenata, čime je potvrđeno da oni razumeju postavljena pitanja i ponuđene odgovore.

U ovim intervjuima, učenici su davali iste odgovore kao i na testu, čime je potvrđeno da su pitanja i odgovori na testu jasno sročeni. Takođe, učenici su davali razloge kojima su opravdavali svoj izbor odgovora za pojedinačna pitanja i branili tačnost svojih (pogrešnih) odgovora. To jasno pokazuje da su učenici imali čvrsta uverenja, a ne slučajne i lakomislene odgovore.

O formalnoj proveru pouzdanosti testova biće više reči u poglavljima 2.2 i 2.3.

Bitno je napomenuti, takođe, da za rešavanje FCI-a nisu potrebna matematička izračunavanja, a postavljena pitanja predstavljaju “primere iz života”. U takvom okruženju su se i oni učenici koji deklarativno znaju Njutnove zakone, ili mogu čak i matematički da ih primene, opredelili za svoje intuitivno znanje i izabrali “primamljive” pogrešne odgovore. Na taj način, ovaj test meri kvalitativno, duboko znanje učenika u oblasti različitih koncepata čitave Njutnove mehanike, a ne samo deklarativno znanje izolovanih činjenica.

U skladu sa pomenutim, veoma je interesantno navesti primer srednjoškola laca dokumentovan u [1]. Dve testirane grupe sa istim brojem učenika radile su MBT i postigle identičan rezultat – prva grupa bili su “odlikaši”, dok se druga grupa sastojala od prosečnih učenika. Dakle, intuicija i konceptualno razumevanje fizike učenika sa velikim uspehom u školovanju nije ništa veća nego kod prosečnih učenika. Ovo samo potvrđuje konstataciju da iako gotovo 80% studenata tipičnog univerziteta ume da definiše Njutnove zakone, samo 15% ih u potpunosti razume [9].

⁶Za više konkretnih informacija na srpskom jeziku o FCI testu, konsultovati [8] i [2].

Inače, većina profesora je, pri prvom susretu sa FCI testom, smatrala da su pitanja previše trivijalna da bi se razmatrala ozbiljno. Nizak učinak na testu bio je sasvim neočekivan.

Glava 2

Osnovni parametri testova

2.1 Upotreba konceptualnih testova

Konceptualni test kao instrument u metodici nastave može meriti [1, 7]:

1. Najčešća predubedenja. Kada dovoljan broj učenika uradi određeni konceptualni test, analizom sakupljenih rezultata mogu se otkriti najčešće učeničke zablude i predubedenja. Konceptualni test ima kvalitativnu i kvantitativnu komponentu – on meri *koje* zablude su prisutne kod učenika i *koliko* učenika u procentualnom smislu zastupa svaku od zabluda. Tada se u nastavnim programima, kao i u radu pojedinačnih nastavnika, mogu preduzeti odgovarajuće mere da se ove zablude otklone.

Na individualnom planu, nastavnik koji je na početku svoje predavačke karijere može puno naučiti u razgovoru sa učenicima o rezultatima konceptualnog testa. Naime, kada učenik daje objašnjenje za svoje odgovore na testu, on u tom procesu nastavniku otkriva svoj način razmišljanja i svoja (pred)ubedenja. Ovo zahteva puno vremena i angažovanja od strane nastavnika, ali je dovoljno da ovaj postupak bude izvršen samo jednom jer su ova predubedenja univerzalna. Kada se nastavnik iz prve ruke uveri kako učenici razmišljaju, on će moći da unapredi nastavu tako da efikasnije ukloni najčešće zablude i pogrešan način mišljenja. Pojedinačne razgovore treba pretvoriti u diskusije sa čitavim razredom u kome se zablude izvlače na površinu i, uz učešće celog razreda, uverenja učenika o nekom fizičkom konceptu se iznose na javnu raspravu ne bi li bila potvrđena ili opovrgnuta.

2. Uspešnost izvođenja nastave. Testiranjem učenika pre početka i nakon završetka nastave određenog predmeta, koristeći isti konceptualni test i

upoređujući rezultate, nastavnik može proceniti u kojoj meri je promenio učeničko shvatanje i u kojoj meri ostvario svoje obrazovne zadatke. Na sličan način, može se proceniti uspešnost određene pedagoške reforme – ako se uz pomoć konceptualnog testa uporedi eksperimentalna i kontrolna grupa.

Praktično posmatrano, za proveru uspešnosti nastave mehanike dovoljno je uraditi samo post-test jer su rezultati predtesta praktično jednaki na ogromnim populacijama učenika. Predubedenja su toliko prisutna, čak i u istorijskom razvoju fizike, da se mogu smatrati gotovo univerzalnim.

U konačnom, ako je nastava dobra, post-test rezultat će biti visok nezavisno od početnog znanja učenika, uzimajući u obzir prirodu konceptualnog testa. Već je pokazano eksperimentalno da je veliki napredak na rezultatima FCI testa pre i posle nastave (veliki priraštaj) moguć – dakle, ako on izostane, treba kriviti kvalitet nastave ili izabrani pristup nastavi⁷.

Svakako, visok učinak na testu moguć je i ako se konkretna pitanja diskutuju u okviru nastave, na času. Ovo je pogrešno jer se onda test ne može upotrebiti za evaluaciju nastave. Učenici mogu napamet naučiti tačne odgovore, a da pri tome nisu razumeli fizičke principe koji leže u osnovi tačnih odgovora.

Dakle, iako pitanja iz testa mogu pokrenuti plodonosne diskusije o važnim fizičkim konceptima, to ipak ne treba činiti. Umesto toga, diskusije treba pokrenuti na drugačiji način, a pitanja iz testa “čuvati” za proveru usvojenosti tog koncepta.

3. Predznanje učenika. Nastavnik može testiranjem izvršiti procenu predznanja i uočiti koji bi učenici mogli imati problema s predviđenim materijalom predmeta, pa im, shodno tome, može posvetiti više vremena i pažnje. Treba naglasiti da konceptualni test *nije* test inteligencije ili akademskih veština, on testira poznavanje određenog koncepta (npr. FCI testira u kojoj meri učenik ima njutnovski pogled na svet).

Rezultati dobijeni primenom konceptualnih testova dobar su pokazatelj znanja učenika jedino ako su i sami testovi pouzdani i valjani. Samo oni testovi koji zadovoljavaju uslove navedene u odeljku 2.2 mogu biti upotre-

⁷Već je pomenuto, u odeljku 1.4, da čak i predavanja sa puno demonstracija mogu imati mali uticaj na konceptualno znanje. Za ovakva predavanja se teško može reći da su niskog kvaliteta, ali je njihov uticaj mali zbog odabranog metodološkog pristupa.

bljeni u pedagoškim istraživanjima. Ispunjenost ovih uslova proverava se statističkim metodama opisanim u odeljku 2.3.

2.2 Opšti zahtevi

Da bi se neki test smatrao pogodnim mernim instrumentom, on mora da zadovoljava sledeće uslove [10, 11]:

- Valjanost. Test mora da meri ono za šta je konstruisan. Dakle test konceptualnog znanja treba da meri upravo konceptualno znanje iz određene oblasti, a ne, na primer, inteligenciju.
- Pouzdanost. Test mora da što tačnije meri ono za šta je namenjen. Drugim rečima, ako student ima odlično konceptualno znanje, trebalo bi da ima i visok učinak na testu. Da bi se ovo proverilo, vrši se korelacija rezultata testova sa završnom ocenom odgovarajućih studenata. Ako postoji jasna korelacija između završne ocene, za koju smatramo da odražava realno znanje učenika, i postignutog rezultata na testu, onda kažemo da je test pouzdan.
- Diskriminativnost. Test mora da jasno “razdvaja” učenike različitih znanja, tj. ako se znanje dva testirana učenika razlikuje, onda se mora razlikovati i njihov uspeh na testu.
- Objektivnost. Test mora da bude konstruisan na takav način da maksimalno smanji subjektivne uticaje testiranih učenika, nastavnika koji proveravaju rezultate ili samih autora testa.
- Sveobuhvatnost. Test mora da što bolje pokrije oblast koju testira, npr. određeni koncept u fizici.
- Jednostavnost i praktičnost. Test mora biti takav da je jednostavan i praktičan za upotrebu.

2.3 Statistička obrada testova

Klasična teorija testova [11] (*classical test theory*) predstavlja metod koji se bazira na statistici i koji se koristi da bi se utvrdilo u kojoj meri su zadovoljeni opšti zahtevi pomenuti u 2.2. U okviru te teorije, definišu se sledeće veličine⁸:

⁸Ceo odeljak 2.3 napisano je na osnovu [11].

Težina pitanja :

$$P_i = \frac{N_t}{N_u}, \quad (2.1)$$

gde je N_t – broj tačnih odgovora, a N_u – ukupan broj odgovora.

Diskriminacioni indeks predstavlja svojevrsnu “razdvojnu moć” i definiše se:

- a) za pojedinačno pitanje – predstavlja razliku udela tačnih odgovora na dato pitanje studenata iz najuspešnijeg kvadranta i najmanje uspešnog kvadranta, tj.

$$D_i = \frac{N_{i,t}}{0.25N_i} - \frac{N_{i,b}}{0.25N_i}, \quad (2.2)$$

gde je:

$N_{i,t}$ – broj tačnih odgovora studenata iz prve četvrtine gledano po uspehu na testu (prvi kvadrant, *top*),

$N_{i,b}$ – broj tačnih odgovora studenata iz poslednje četvrtine gledano po uspehu na testu (poslednji kvadrant, *bottom*),

N_i – ukupan broj odgovora/studenata.

- b) za ceo test (*mean discrimination index*) – predstavlja srednju vrednost diskriminacionih indeksa za svako pitanje, tj.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^K D_i}{K}, \quad (2.3)$$

gde je K – broj pitanja na testu.

Fergusonova delta definisana je kao

$$\delta = \frac{(K + 1)(N^2 - \sum_{i=1}^K f_i^2)}{KN^2}, \quad (2.4)$$

gde je:

K – broj pitanja na testu,

f_i – frekvenca datog rezultata, odnosno broj koji pokazuje koliko je studenata dalo i tačnih odgovora na testu,

N – broj studenata (tj. veličina uzorka),

Fergusonova delta je još jedan pokazatelj diskriminativnosti testa na osnovu toga kako su ostvareni rezultati grupisani u odnosu na sve

moguće rezultate. Ako je $\delta = 0$, onda svi studenti imaju isti rezultat i diskriminacija je minimalna. U suprotnom, ako je $\delta = 1$, svaki mogući rezultat ostvario je jednaki broj studenata i diskriminacija je maksimalna.

Pirsonov (*Pearson*) koeficijent korelacije dve slučajne promenljive x i y dat je kao

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sqrt{\text{var}(x) \text{var}(y)}}, \quad (2.5)$$

gde su kovarijansa⁹ i varijansa¹⁰ definisane kao

$$\text{cov}(x, y) = \langle (x - \langle x \rangle) (y - \langle y \rangle) \rangle, \quad (2.6)$$

$$\text{var}(x) = \langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle, \quad (2.7)$$

a uglaste zagrade označavaju očekivanu vrednost slučajne promenljive.

Vrednost koeficijenta r kreće se u intervalu $[-1, 1]$ i ako je:

$r = -1$, promenljive promenljive x i y su negativno korelisane (odnosno one su antikorelisane),

$r = 0$, promenljive x i y nekorelisane,

$r = 1$, promenljive x i y su potpuno korelisane.

Normalizovan priraštaj (*normalized gain*) daje ostvareno poboljšanje učinka nasuprot ukupnom mogućem priraštaju učinka na određenom pitanju, prilikom testiranja pre i posle odslušane nastave. Izraženo u obliku matematičke formule, to je:

$$g_i = \frac{P_{i,post} - P_{i,pre}}{1 - P_{i,pre}}, \quad (2.8)$$

gde je:

$P_{i,pre}$ – udeo tačnih odgovora na i -to pitanje pre odslušane nastave, odnosno težina i -tog pitanja pre nastave,

$P_{i,post}$ – udeo tačnih odgovora na i -to pitanje nakon odslušane nastave, odnosno težina i -tog pitanja nakon nastave.

⁹U statistici i teoriji verovatnoće, kovarijansa predstavlja meru zajedničke promene dve slučajne promenljive. Na primer, ako velikoj vrednosti promenljive x odgovara velika vrednost promenljive y , i maloj vrednosti promenljive x odgovara mala vrednost promenljive y , onda je kovarijansa pozitivna jer promenljive pokazuju slično ponašanje. U slučaju kada velikoj vrednosti promenljive x odgovara mala vrednost promenljive y , a maloj vrednosti promenljive x odgovara velika vrednost promenljive y , kovarijansa je negativna jer promenljive pokazuju suprotno ponašanje. Za ovu veličinu se u našem govornom području sreće i naziv “korelaciona funkcija”.

¹⁰Varijansa je poseban slučaj kovarijanse kada su razmatrane promenljive jednake. Za ovu veličinu se u našem govornom području sreće i naziv “dispersija”.

2.4 Način postavke problema

Prilikom sastavljanja testa treba voditi računa na koji način će zadaci biti formulisani i na koji način to utiče na pristup studenata određenom problemu. Prema [12], reprezentacija (prikaz) je način predstavljanja problema studentu i ona može biti *a*) tekstualna; *b*) pomoću grafika; *c*) slikovna; *d*) pomoću matematičke formule; *e*) pomoću dijagrama sa silama itd. Odabir odgovarajućeg prikaza prema konkretnom problemu, kao i mogućnost lakog i tačnog prelaska iz jedne u drugu reprezentaciju ključna je za bavljenje fizikom i pravilno baratanje pojmovima.

U nastavi, izražavanje problema na različite načine doprinosi širem, dubljem i fleksibilnijem znanju učenika i studenata. Osnovne funkcije različitih prikaza istog problema u učenju u nastavi su [13]:

1. Dopuna drugih prikaza. Koristeći samo jedan prikaz, opis problema može biti nepotpun ili previše komplikovan. Na primer, mnogo je jednostavnije pozvati se na sliku i zatim rečima dopuniti opis razmatrane situacije nego veoma detaljno opisati situaciju samo rečima.
2. Ograničenje drugih prikaza. Na primer, analizom grafičkog prikaza neke jednačine može se vršiti tumačenje te jednačine.
3. Razvoj dubljeg razumevanja. Ako studenti integrišu informacije iz više od jednog izvora, odnosno koristeći različite prikaze, to znanje će biti dublje i fleksibilnije.

Da bi upotreba različitih prikaza bila produktivna, studenti moraju naučiti kako da [12]: *a*) interpretiraju dati prikaz; *b*) povežu dati prikaz sa realnošću, odnosno iskustvom; *c*) dati prikaz prevedu u druge prikaze po želji; *d*) izaberu odgovarajući prikaz shodno prirodi razmatranog problema. Ove veštine se ukratko nazivaju reprezentacionom konzistentnošću¹¹ – to je mogućnost tačne i dosledne upotrebe različitih prikaza istovetnog problema [13].

Upotreba različitih prikaza u nastavi [13] je bitna jer podstiče razumevanje pojava, premošćuje jaz između verbalnog i matematičkog izražavanja i pomaže studentima da putem slika daju značenje matematičkim simbolima. Ipak, takva praksa može biti i štetna ako se ne uzme u obzir povećani mentalni napor učenika, koji dolazi kao posledica produktivne upotrebe različitih reprezentacija.

Prilikom sastavljanja testa, nas zanima:

¹¹Na engleskom: “representational consistency”.

1. Da li će uspeh studenata na testu zavisi od izbora reprezentacije?
2. Da li će pristup rešavanju problema koji studenti biraju zavisi od načina na koji je problem predstavljen?
3. Koja reprezentacija je najpogodnija za testiranje konceptualnog znanja?

S obzirom na to da želimo da testiramo konceptualno znanje učenika, a ne njihovu sposobnost rešavanja zadataka, ne treba koristiti numeričku reprezentaciju, gde se traži konkretna numerička vrednost (npr. brzine).

U verbalnoj reprezentaciji, problem je opisan samo rečima. Ovo nije dobro jer mi želimo da testiramo konceptualno, a ne verbalno znanje učenika. Već je primećeno da učenici imaju zabrinjavajuće slabo razumevanje teksta [7], bilo zbog nepažljivog čitanja, bilo zbog nerazumevanja kako “male” ali bitne reči utiču na značenje. Ovo jeste ozbiljna tema, ali nije nešto čime se konceptualni test bavi. Dakle, čisto verbalnu reprezentaciju takođe treba izbegavati, kada god je to moguće.

U grafičkoj reprezentaciji centralni podatak je grafik, dok samo tekst objašnjava šta grafik predstavlja i šta se u zadatku traži. Tumačenje grafika sa sobom nosi svoj set problema i nastavnicima i profesorima je poznato da se učenici i studenti po pravilu loše snalaze sa tumačenjem grafika. Razumevanje grafika je veoma važna veština za bavljenje naukom i postoje konceptualni testovi posvećeni upravo ovoj temi. Ipak, zbog toga što je čitanje grafika “slaba tačka” većine učenika, ovu reprezentaciju treba izbegavati jer hipotetički učenik koji ima dobro konceptualno znanje, a ne ume da čita grafike, neće moći da odgovori na pitanje¹².

Dakle, najpogodnija reprezentacija za upotrebu jeste slikovna reprezentacija u kojoj slika ili crtež, uz propratni tekst, učeniku dočaravaju razmatranu situaciju.

Ipak, razvojem kompjutera i digitalne tehnologije, javlja se mogućnost za još jednu vrstu reprezentacije problema – mogućnost upotrebe animacija. Moderna tehnologija ima potencijal da unapredi proces podučavanja, ali može dovesti i do gubljenja vremena ili, još gore, unazaditi učenje. Kompjuter sam po sebi ne vrši podučavanje – to je alat. Njegova efikasnost zavisi od toga koliko je vešto upotrebljen. Važno je razumeti da je učenicima vođstvo potrebno pri upotrebi računara kao i pri upotrebi tradicionalnih tehnika.

¹²Potpuno je jasno da ova preporuka ne važi za konceptualne testove koji testiraju razumevanje grafika.

U radu [3] razmotreno je na koji način animacije utiču na proveru konceptualnog znanja. Cilj je bio proveriti *a)* da li animacije mogu dati više podataka o konceptualnom znanju učenika od tradicionalne forme testa; *b)* da li animacije mogu unazaditi proveru znanja *c)* koji parametri utiču na efikasnost animacija. U tu svrhu načinjena je animirana verzija FCI testa, pri čemu se vodilo računa da ona bude što sličnija statičnoj verziji. Sva pitanja modifikovana su tako da je nepokretna slika zamenjena zasebnim animacijama koje odgovaraju pojedinačnim odgovorima, a čije emitovanje studenti mogu da kontrolišu po volji.

Poređenjem ostvarenih rezultata na animiranoj i statičnoj verziji testa, primećna je značajna razlika u procentima tačnih odgovora na šest pitanja, gde je grupa sa animacijama ostvarila bolji učinak na tri pitanja i lošiji učinak na preostala tri pitanja [3]. Vidimo, dakle, da uključivanje animacija utiče na rezultate testiranja. Ipak, i dalje nije utvrđeno da li su animacije poboljšale proveru znanja. Povećanje ili smanjenje učinka na određenom pitanju je dobro samo ako ta promena vernije oslikava realno znanje učenika. To je provereno u razgovorima sa učenicima. Zaključeno je da je animirana verzija bolja jer omogućuje preciznije merenje konceptualnog znanja eliminišući dodatne faktore koji bi mogli da utiču na rezultat (kao što su verbalne veštine). Razlozi za veću validnost animiranog testa su:

1. Studenti su pogrešno pročitali objašnjenje statičnog problema. Bilo je slučajeva da učenik tačan odgovor zameni pogrešnim nakon viđenja animacije ili obrnuto, da netačan zameni tačnim, ali u oba slučaja je ta promena tačnije oslikavala učeničko konceptualno znanje, što je potvrđeno intervjuima.
2. Studenti su pravilno pročitali objašnjenje statičnog problema, ali ga nisu razumeli. Animacije su eliminisale dodatni zadatak interpretacije problema.
3. Animirani testovi su precizniji. Iako statična verzija testa sadrži sve relevantne podatke iz ugla iskusnog fizičara, za učenike sa određenim zabudama, taj opis može biti nepotpun. Animacija prikazuje sve aspekte kretanja istovremeno, pa tako omogućuje sveobuhvatniju analizu učeničkog mišljenja.
4. Animirana pitanja se ređe povezuju sa napamet naučenim odgovorima. Čini se da animacija više podseća na realne životne primere, pa se studenti češće pozivaju na svoje “svakodnevno” razumevanje umesto na svoje “knjiško” razumevanje.

Iako upotreba animacija sa sobom nosi izvesne teškoće (komplikovanije od papira, hardverski i softverski problemi, dostupnost kompjutera, test duže traje zbog vremena trajanja animacija), vidimo da ona može povećati upotrebnu vrednost testa. Ne samo to, upotreba tehnologija otvara sasvim nove mogućnosti koje tradicionalno testiranje upotrebom papira nije dozvoljavalo. S obzirom na to da je testiranje upotrebom papira dominantno danas koliko i u prošlosti, kontinuirana upotreba ovog metoda zasigurno je oblikovala i način na koji postavljamo pitanja. Sve ovo otvara mogućnosti za dalja istraživanja i upotrebu tehnologije za još bolju proveru intuitivnog znanja.

2.5 Uticaj uslova testiranja

S obzirom na to da su konceptualni testovi dugo prisutni u obrazovanju, još od pojavljivanja FCI-a, u radu [14] je ukazano na koji način uslovi testiranja mogu uticati na rezultate testa. Ovi uslovi su obično konstantni unutar jednog istraživanja, ali ne i u više različitih istraživanja, pa je zato teško objediniti rezultate više različitih istraživanja. U pomenutom radu je detaljno proučeno na koji način *a)* termin zadavanja testa u polugodištu utiče na rezultate predtesta; *b)* nagrada za dobar rezultat utiče na rezultate post-testa.

Što se tiče termina kada je test zadat, razmatrane su tri grupe [14]: **prva** grupa radila je test bez ikakvih predavanja, **druga** grupa radila je test nakon jednog odslušanog predavanja, i **treća** grupa radila je test nakon dva odslušana predavanja (tj. nakon jedne nedelje od početka nastave). Nijedna od grupa nije imala nikakvu nagradu za učestvovanje u testiranju. Rezultati istraživanja pokazuju da čak i jedno ili dva predavanja imaju značajan uticaj na rezultate i poboljšavaju ih, u proseku, za rezultat koji je ekvivalentan bodovima za 2.5 pitanja. Iako se moglo pretpostaviti da će rezultati testa biti različiti u pomenutim eksperimentalnim grupama, uticaj je iznenađujuće velik. Poboljšanje uspeha na testu dolazi upravo na onim pitanjima koja su bila tema prvih nekoliko predavanja.

Ovo je naizgled u suprotnosti sa prethodno pomenutom naznakom da tradicionalna nastava fizike malo utiče na promenu učeničkih predubedenja. Objašnjenje leži u tome što je u ovom istraživanju korišćen BEMA (Brief Electricity and Magnetism Assessment), tj. konceptualni test za oblast elektromagnetizma. Pojave iz elektromagnetizma nisu toliko bliske učeničkom neposrednom iskustvu tako da su učenička predubedenja u ovoj oblasti značajno slabija u odnosu na ona iz mehanike. Zato je lakše i promeniti učeničke stavove, učenici nisu sigurni u njih. Takođe, prvih nekoliko pitanja na testu, odnosno prvih nekoliko predavanja u okviru predmeta bave se relativno jed-

nostavnim pojmovima poput naelektrisanja, pa nije naročito teško postići odgovarajuće učeničko razumevanje.

Drugi parametar koji je razmatran je nagrada, odnosno motiv koji studenti imaju prilikom polaganja testa. **Prva** grupa studenata dobila je mali broj poena za učestvovanje u testiranju, nezavisno od toga koji je njihov učinak na testu. **Druga** grupa je imala mogućnost da rezultate nekog testa u okviru predmeta zamene rezultatima konceptualnog testa, ako su ovaj dobro uradili (rezultat preko 90%). **Treća** grupa je konceptualni test radila kao deo završnog ispita od koga zavisi ocena na datom predmetu. Rezultati istraživanja pokazuju da nagrada za učestvovanje u testiranju ima uticaja i to u nivou jednog pitanja na testu. Jedno od mogućih objašnjenja za ovu promenu je da različite nagrade i, kao posledica toga, različiti motivi za učestvovanje u testiranju mogu privući studente različitog znanja unutar grupe i na taj način uticati na prosečan rezultat.

Iako se moglo pretpostaviti da će vremenski termin davanja testa i nagrada za učestvovanje u njemu uticati na rezultate, iznenađuje u kojoj meri su rezultati osetljivi na ove parametre. Što se tiče vremenskog termina, preporuka je da predtest treba uraditi *pre* bilo kakvih predavanja, a post-test uraditi *nakon* svih predavanja.

Što se tiče nagrada, tu situacija nije sasvim jasna i odluka da li će konceptualni test biti deo krajnje ocene zavisi i od načina na koji instruktor želi da primeni test. Mišljenje autora ovog rada je da konceptualni test treba, pre svega, koristiti za proveru uspešnosti nastave i, shodno tome, odvojiti od ocenjivanja. Zbog toga učenicima ne treba dati nikakvu nagradu ili dati neku vrstu “neutralne” nagrade za učestvovanje u konceptualnom testiranju. Pretpostavka je da ćemo tada dobiti iskrenije odgovore od onih koje bi učenici dali kada se “bore za ocenu”.

2.6 Opšti postupak izrade konceptualnog testa

Pri izradi novog konceptualnog testa, najčešće se primenjuje sledeći (gotovo standardizovani) postupak [11, 15]:

1. Neformalnom konsultacijom sa nastavnicima, na osnovu njihovog predavačkog iskustva, vrši se odabir koncepata i ideja koji učenicima najčešće prčinjavaju problem.
2. Na osnovu liste opštih koncepata, vrši se formiranje preliminarnog testa sa pitanjima koja će u različitim konkretnim situacijama testirati učeničko razumevanje.

3. Na osnovu konsultacije sa stručnjacima i studentima dolazi se do “otvorene verzije testa”. Stručnjaci za oblast fizike koja je predmet testiranja daju svoje mišljenje o tome da li su pitanja sročena *ispravno* i koji su tačni odgovori, dok se u razgovoru sa studentima proverava da li su pitanja sročena *jasno*.
4. Vršiti se probno testiranje otvorenom verzijom testa. U ovoj verziji studenti nemaju unapred ponuđene odgovore, već se od njih traži da daju detaljno obrazložen odgovor na postavljeno pitanje. Na osnovu ovih odgovora, kao i neposrednih razgovora u kojima studenti naglas razmišljaju i obrazlažu svoje odgovore, istraživači dobijaju uvid u način razmišljanja studenata i njihove stavove.
5. Na osnovu sakupljenog materijala vrši se sistematizacija učenčkih zabluda. Ovo predstavlja kvalitativnu analizu.
6. Da bi se izvršila kvantitativna analiza, kojom merimo zastupljenost svake od zabluda, neophodno je načiniti test višestrukog izbora, pri čemu su unapred ponuđeni netačni odgovori formulisani na osnovu najčešćih učenčkih zabluda. Ovo predstavlja konačnu verziju testa. Valjanost ovakvog testa meri se statističkim metodama opisanim u odeljku 2.3.

Interesantna ideja prezentovana u [11] je upotreba “skale uverenosti” za svako pitanje. Ova skala traži od učenika da se izjasne koliko su uvereni u tačnosti odgovora koji su dali. Ponuđeno je pet opcija: 1. Ne znam šta je tačan odgovor. 2. Nesiguran sam u svoj odgovor. 3. Neutralno. 4. Mislim da mi je odgovor tačan. 5. Siguran sam da mi je odgovor tačan. Upotreba ove skale može biti korisna za procenu da li je u pitanju zabluda ili neznanje. Na primer, ako neko pitanje ima visok procenat netačnih odgovora i visok nivo sigurnosti u tačnost odgovora, u pitanju je zabluda. U slučaju visokog procenta tačnih odgovora i visokog nivoa sigurnosti u tačnost, možemo tvrditi da je koncept savladan. U slučaju da je pouzdanost u tačnost odgovora niska, učenik nema jasno izgrađenu sliku pojave – ni tačnu, ni pogrešnu.

Glava 3

Konceptualni test Galilejeve relativnosti

Kao što je na početku pomenuto, za različite oblasti nauke, kao i za konkretne oblasti fizike, razvijeni su odgovarajući konceptualni testovi koji mere dubinu usvojenog znanja iz tih oblasti. Popis datih testova u oblasti fizike dat je na različitim sajtovima posvećenim metodici nastave fizike¹³ [16–18].

Prema referencama datim u prethodnom pasusu, prihvaćeni konceptualni test za oblast Galilejeve relativnosti ne postoji (iako postoje naučni radovi koji se njome bave i u kojima postoje testovi za ovu oblast [15, 19]). Zbog toga je, u okviru ovog master rada, sastavljen konceptualni test za pomenutu oblast fizike.

Motivacija za izradu ovog testa je sledeća:

1. Galilejeva relativnost je jedan od fundamentalnih koncepata klasične fizike.
2. Učenici imaju problema sa *a*) slaganjem brzina; *b*) razmatranjem pojava iz različitih sistema reference; *c*) razumevanjem razlika između inercijalnog i neinercijalnog sistema; *d*) razumevanjem prirode i upotrebe inercijalnih sila itd.
3. Galilejeva relativnost nije “pokrivena” odgovarajućim konceptualnim testom.

¹³U engleskom jeziku se metodika nastave fizike najčešće označava skraćenicom PE, od sintagme Physics Education, ili pojmom Didactics of Physics. Akronim PER, koji potiče od sintagme Physics Education Research, označava istraživanje u oblasti metodike nastave fizike.

Primerak ovog testa u štampanoj verziji master rada, namenjen komisiji, nalazi se kao dodatak na kraju rada. Primerak testa je nedostupan u elektronskoj verziji master rada i može se dobiti jedino kontaktiranjem autora¹⁴.

3.1 Teorijska razmatranja

Pojam referentnog tela uvodi se još u šestom razredu osnovne škole i predstavlja jedan od osnovnih pojmova fizike. Ipak, pregledom literature na našem jeziku može se videti da su neke definicije vezane za relativnost kretanja i njene posledice neprecizne ili čak pogrešne, bilo na nivou osnovne škole, srednje škole ili fakulteta. Upravo zato je u ovom radu učinjen pokušaj da se pojmovi referentnog sistema, inercijalnog i neinercijalnog sistema reference, Galilejeve relativnosti i inercijalnih sila pravilno definišu i protumače. To je učinjeno na osnovu [20, 21]. U ovim udžbenicima je vrlo precizno i pažljivo razmotrena pomenuta tematika. Definicija i tumačenje ovih pojmova ujedno će biti i odlična početna tačka za analizu najčešćih učeničkih zabluda.

U šestom razredu osnovne škole razmatra se kretanje i navodi se zaključak da je svako mirovanje i kretanje u prirodi relativno. To znači da se ono mora razmatrati u odnosu na neko drugo telo, koje se naziva uporedno ili *referentno telo* [22]. Navodi se, takođe, da će brzina i putanja tela biti različite ako se razmatraju u odnosu na dva različita referenta tela i uvodi se pojam relativne brzine.

Pojam referentnog tela ponovo se pominje u prvom razredu srednje škole [20]. Tada se vrši uopštavanje uvođenjem termina *referentni sistem*, koji predstavlja referentno telo sa pridruženim koordinatnim sistemom. Nakon toga vrši se razmatranje inercijalnih i neinercijalnih sistema reference, Galilejevog principa relativnosti i dinamike kružnog kretanja.

Dakle, svo predznanje potrebno za rešavanje konceptualnog testa klasične relativnosti koji je priložen uz ovaj rad stiže se još u prvom razredu srednje škole. S druge strane, u odeljku 1.1 navedeno je da je ciljna grupa za testiranje

¹⁴Neobjavljivanje testa u javno dostupnoj elektronskoj verziji na internetu je standardna praksa zaštite testova. Naime, konceptualni testovi su standardizovani i pouzdani merni instrumenti, a većina njih su razvijani godinama, uz puno uloženog truda. Takođe, oni se već duže vreme, sa velikom pouzdanošću, upotrebljavaju u različitim pedagoškim istraživanjima (videti odeljak 2.1). Ovi testovi se zbog toga ne objavljuju javno, kako ne bi dospeli do učenika i studenata, koji bi onda mogli da napamet nauče odgovore i tako naruše validnost i pouzdanost testa. Još neke od mera zaštita testa i pravilnog testiranja učenika date su u okviru uputstava uz sam test.

Da biste dobili primerak testa, možete kontaktirati autora na email adresu `lazar.radenkovic@pmf.edu.rs`.

prva godina fakulteta, odnosno završna godina srednje škole. Razlog za to je da, iako naizgled jednostavno, adekvatno razumevanje ovih pojmova od prosečnog učenika zahteva sposobnost apstraktnog mišljenja koja se dostiže tek kasnije u životu. O tome da adekvatno razumevanje sistema reference i inercijalnih sila nije trivijalno svedoče *univerzitetski* udžbenici u kojima se delovanje centrifugalne sile na telo koje rotira (pogrešno) objašnjava zakonom akcije i reakcije!

3.1.1 Inercijalni i neinercijalni sistemi reference

Već je pomenuto da se referentni sistem dobija kada se za referentno telo veže koordinatni sistem. Ono što se podrazumeva je da ovo referentno telo mora biti apsolutno kruto telo kod koga se, po definiciji, rastojanje čestica ni pri kojim uslovima ne menja, da bi orijentacija osa koordinatnog sistema bila nepromenjena.

Sistemi reference dele se na *inercijalne* i *neinercijalne*. U originalnoj formulaciji Njutnove mehanike podrazumeva se postojanje apsolutnog prostora u odnosu na koji je moguće konstruisati apsolutno nepokretni sistem reference. Apsolutno nepokretni sistemi reference, kao i oni koji se u odnosu na njih kreću ravnomernom brzinom (bez promene orijentacije osa) nazivaju se inercijalnim sistemima reference. Svi ostali referentni sistemi, koji se kreću ubrzano u odnosu na apsolutni prostor, su neinercijalni sistemi.

Ovde je važno napomenuti da dva sistema koja se međusobno kreću pravolinijski ravnomernom brzinom ne moraju nužno biti inercijalna, jer će u slučaju kretanja istovetnim *ubrzanjem* u odnosu na apsolutno nepokretni referentni sistem ovaj uslov biti ispunjen, a sistemi će biti neinercijalni. Drugi primer bila bi dva sistema koja sinhrono rotiraju (rotiraju istom ugaonom brzinom) oko iste ose – u ovom slučaju ova dva sistema su neinercijalna, a međusobno miruju.

U modernoj fizici je ideja o postojanju apsolutnog prostora i neke vrste privilegovanog, nepokretnog referentnog sistema napuštena. Za praktična razmatranja, ovakav sistem je moguće konstruisati u odnosu na zvezde nekretnice (zvezde čiji se međusobni položaj zanemarljivo malo menja), ali, u principijalnom smislu, ovakav sistem ne postoji.

Zato se određivanje inercijalnosti nekog referentnog sistema obično vrši pozivanjem na prvi ili drugi Njutnov zakon. Kaže se da su inercijalni sistemi oni sistemi u kojima važi zakon inercije. Dakle, ako posmatrač konstatuje da se telo kreće ravnomernom brzinom kada je ukupna interakcija posmatranog tela sa ostalim telima jednaka nuli, onda on za sebe može tvrditi da je inercijalan sistem. S druge strane, ako se posmatrano telo kreće ubrzano, iako je ukupna rezultanta aktivnih sila jednaka nuli, onda uočeno ubrzanje potiče

od ubrzanja samog posmatrača, pa tako posmatrač može za sebe tvrditi da je neinercijalni sistem reference.

Pomenuti kriterijum sličan je kriterijumu koji se dobija pozivanjem na drugi Njutnov zakon, a koji se svodi na to da u neinercijalnom sistemu reference posmatrač meri ubrzanja koja nisu uslovljena interakcijama već kretanjem samog sistema reference. To znači da će se osnovni dinamički zakon Njutnove mehanike, tj. drugi Njutnov zakon, razlikovati po svom obliku u inercijalnom i neinercijalnom sistemu reference. Dakle, posmatrač u neinercijalnom sistemu reference može izvršiti eksperiment¹⁵ koji bi mu pružio informaciju o neinercijalnosti njegovog sistema reference.

3.1.2 Galilejeva relativnost

Iz same definicije inercijalnih sistema reference jasno proizlazi da se bilo koja dva inercijalna sistema reference kreću pravolinijski konstantnom brzinom jedan u odnosu na drugi. Takođe, lako je videti da je ubrzanje razmatranog tela isto u svim inercijalnim sistemima reference.

Upravo zbog pomenutog zaključka, kao i zbog prećutnih pretpostavki da su masa i sila interakcije nezavisne od izbora sistema, osnovni dinamički zakon ima isti oblik u svim inercijalnim sistemima reference. Ova tvrdnja predstavlja klasični ili *Galilejev princip relativnosti*. Ekvivalentan način izražavanja ovog principa je da je osnovni dinamički zakon invarijantan pri prelazu iz jednog inercijalnog sistema u drugi, tj. da je osnovni dinamički zakon invarijantan u odnosu na Galilejeve transformacije (koje daju vezu između koordinata iste čestice posmatrane iz dva inercijalna sistema).

3.1.3 Neinercijalni sistemi reference i inercijalne sile

Iako je ubrzanje tela istovetno kada se razmatra iz različitih *inercijalnih* sistema, ono se menja kada je sistem reference neinercijalan. U neinercijalnom sistemu reference, posmatrač meri i ubrzanja koja nisu uslovljena interakcijom tela već su posledica kretanja samog inercijalnog sistema. Samim tim, osnovni dinamički zakon u neinercijalnim sistemima reference ima drugačiji oblik zbog pojave novih članova.

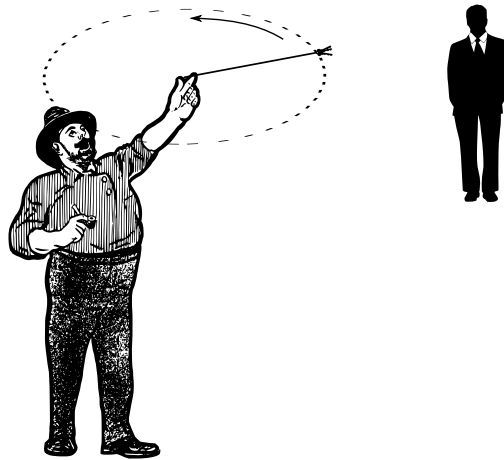
Novi članovi koji su pojavljuju u osnovnom dinamičkom zakonu nazivaju se *inercijalnim silama*. Pri tome razlikujemo Koriolisovu silu i prenosnu silu. U često razmatranom slučaju neinercijalnog sistema čije ose rotiraju konstantnom ugaonom brzinom, a čiji koordinatni početak miruje ili se kreće

¹⁵Jedan od konkretnih primera za takav eksperiment je eksperiment sa Fukoovim klatnom.

pravolinijski ravnomernom brzinom, prenosna sila svodi se na poznatu centrifugalnu silu.

Naglasimo još jednom da inercijalne sile *nisu* posledica interakcije dva tela već *neinercijalnosti* sistema iz koga razmatramo kretanje. Ove sile su prisutne *samo* onda kada kretanje razmatramo iz neinercijalnog sistema reference. Zbog toga se ove sile u pojedinim udžbenicima [23] nazivaju i *fiktivnim silama*. Ipak, njihovo dejstvo je vrlo realno u neinercijlanom sistemu reference i ono se može i eksperimentano meriti, kako je napomenuto, i takvim eksperimentom posmatrač može utvrditi neinercijlanost sopstvenog sistema reference.

Ilustracije radi razmotrimo idealizovanu situaciju prikazanu na slici 3.1 u kojoj čovek rotira ključeve konstantnom ugaonom brzinom u horizontalnoj ravni, a drugi čovek stoji pored njega. Zanemarićemo dejstvo gravitacione sile koja deluje na ključeve u odnosu na silu zatezanja uzice zbog male mase ključeva.



Slika 3.1: Čovek rotira ključeve na uzici.

Neka je S_1 inercijalni referentni sistem vezan za podlogu, a S_2 neinercijalni referentni sistem čije ose rotiraju zajedno sa ključevima, istom ugaonom brzinom, a čiji je koordinatni početak na osi rotacije ključeva.

Razmotrimo kretanje iz sistema S_1 . Sila koja obezbeđuje kretanje ključeva po kružnoj putanji jeste sila zatezanja uzice. Kada bi sila zatezanja u toku rotacije trenutno nestala, na primer zbog kidanja uzice, ključevi bi

nastavili da se kreće po inerciji duž tangente u onoj tački u kojoj su bili kada je uzica pukla. Dakle, sila zatezanja u svakom trenutku “povlači” ključeve ka osi rotacije i na taj način obezbeđuje njihovo kružno kretanje. U našoj aproksimaciji, ovo je jedina sila koja deluje na ključeve, posmatrano iz sistema S_1 .

Na čoveka koji ovo posmatra sa strane deluju sila gravitacije i reakcija podloge. Ove sile su u ravnoteži i čovek miruje.

Razmotrimo sada kretanje ključeva i čoveka koji stoji sa strane iz sistema S_2 . U odnosu na ovaj referentni sistem, ključevi miruju, a čovek rotira konstantnom ugaonom brzinom u smeru kazaljke na satu. Objasnimo ovo kretanje sa dinamičkog stanovišta, uzimajući u obzir da je S_2 neinercijalan sistem i uvodeći inercijalne sile – centrifugalnu i Koriolisovu.

Na ključeve deluju sila zatezanja uzice, koja deluje ka koordinatnom početku i centrifugalna sila, koja deluje duž istog pravca i koja je usmerena od koordinatnog početka. Ove dve sile su uravnotežene i ključevi miruju u ovom sistemu reference. Koriolisova sila ne deluje na ključeve jer je njihova brzina u odnosu na ovako odabran sistem S_2 jednaka nuli.

Čovek rotira u smeru kazaljke na satu i na njega, pored gravitacione sile i sile reakcije podloge, deluju centrifugalna i Koriolisova sila. Izračunavanjem je lako pokazati da je intenzitet Koriolisove sile dva puta veći od intenziteta centrifugalne sile i da je rezultanta ove dve sile usmerena ka koordinatnom početku sistema S_2 . Dakle ukupna inercijalna sila koja deluje na čoveka, koja se dobija kao rezultanta Koriolisove i centrifugalne sile, obezbeđuje kružno kretanje čoveka u sistemu S_2 , kako smo i očekivali.

3.2 Osnovne zablude

Metodologijom opisanom u odeljku 2.6, otkriveno je da su najčešće učeničke zablude vezane za sisteme reference (na osnovu radova [15, 19, 24]):

1. Tretiranje sistema reference kao da je konkretan objekat. Ovoj zabludi dodatno doprinosi i uobičajen način izražavanja bilo u žargonu fizike, bilo u žargonu nastavnika prilikom predavanja. Naime, često se kaže “U referentnom sistemu vezanom za brod...”. Ovakva rečenica, sama po sebi, nije loša, ali se mora voditi računa da učenici ne poistovete apstraktan objekat – sistem reference, sa konkretnim objektom, u ovom slučaju – brodom. Kao posledica toga, neki studenti smatraju da sistem reference može da trpi trenje, da se raspadne na dva nova sistema, da se u sudaru sa drugim kombinuje u novi, treći sistem i sl.

Slično prethodnom primeru, učenici često smatraju da su dimenzije re-

ferentnog sistema ograničene dimenzijama tela za koje je vezan, umesto da se ose protežu u beskonačnost, kako je zapravo slučaj. Na primer, prema ovom (pogrešnom) rezonu, putnik u vagonu se nalazi u referentnom sistemu vezanom za vagon, dok se putnik na stanici ne nalazi u ovom referentnom sistemu.

2. Mala tela su deo većeg referentnog sistema. Prema ovoj zabludi, bilo koje kretanje “unutar” sistema reference, tj. unutar granica konkretnog objekta za koji je sistem vezan je zanemarljivo. Na primer, učenik koji ima ovu zabludu smatra da, u odnosu na čoveka koji hoda brodskom palubom, brod miruje.
3. Pojave pripadaju određenom referentnom sistemu. Prema ovoj zabludi, pojava pripada samo onom referentnom sistemu iz koga se posmatra ili u kojem se odvija, a ne dešava se ni u jednom drugom sistemu. Ili, jedna pojava posmatrana iz dva različita sistema reference razmatra se kao da su u pitanju dve pojave.
4. Inercijalne sile su nezavisne od referentnog sistema. Ova zabluda je na neki način u suprotnosti sa prethodnom i najčešće se manifestuje uverenjem da centrifugalna sila deluje “uvek”, odnosno deluje na svako telo koje rotira, nezavisno od izbora referentnog sistema. Ova zabluda pokazuje fundamentalno nerazumevanje prirode centrifugalne sile koja je zapravo posledica neinercijalnosti sistema iz koga se posmatra kretanje, a ne interakcije dva tela, pa tako njeno postojanje direktno zavisi od izbora referentnog sistema. Ova zabluda verovatno ima dva uzroka:
 - (a) Osećanje sile. Na primer, pri skretanju automobila u krivini, putnici “osećaju” centrifugalnu silu. Ovoj temi (antropomorfizam) je posvećen ceo stav u ovoj listi, nešto niže.
 - (b) Nejasnost predavanja. Prilikom izučavanja centrifugalne sile, često se razmatra slučaj tela koje rotira konstantnom ugaonom brzinom. Tada se obično kaže da je centrifugalna sila izjednačena sa silom zatezanja užeta i da je to ono što telo drži na kružnoj putanji. Ovo objašnjenje je pogrešno jer telo ne bi rotiralo da su sve sile uravnotežene, ono bi se tada kretalo pravolinijski ili bi mirovalo. Izjednačavanje centrifugalne sile i sile zatezanja moguće je *samo* u sistemu reference koji rotira zajedno sa telom i u kome telo miruje. Korektno objašnjenje ove pojave dato je u odeljku 3.1.3.
5. Pravo i prividno kretanje. Ova zabluda je vezana za upotrebu najpogodnijeg sistema reference za opis određene pojave. Na primer, pri

razmatranju kretanja voza, učenici najčešće koriste referentni sistem vezan za “nepokretnu” stanicu. Srž ove učeničke zablude je da je stvarno kretanje samo ono koje se dobija posmatranjem iz “prirodnog” referentnog sistema, te da je ovaj referentni sistem privilegovan u odnosu na ostale. Posmatranje iz bilo kog drugog sistema reference daje samo prividna kretanja, ona koja nisu stvarna. Ova učenička ideja o postojanju privilegovanog sistema reference bliska je originalnoj Njutnovoj ideji apsolutnog prostora.

Ova učenička zablude prenosi se i na razmatranje rotacionog kretanja. Na primer, učenik koji ima ovu zablude rekao je da je [19]: “...sasvim očigledno da čestica male mase može da rotira oko masivnog tela, a ne [obrnuto]”. Ovde se implicitno podrazumeva da je referentni sistem vezan za masivnu česticu, koja je u tom sistemu nepokretna, a da je kretanje male čestice stvarno. Alternativno, u ovakvim razmatranjima može se implicitno podrazumevati prisustvo trećeg “neutralnog” posmatrača, u odnosu na koji je masivna čestica nepokretna. Obrnuti slučaj, u kome veliko telo rotira oko manjeg uzima se za prividno kretanje.

Korektno tumačenje je da su sva kretanja relativna, tj. razmatraju se u odnosu na neki referentni sistem. U tom smilu, oba pomenuta kretanja su ravnopravna, odnosno podjednako “stvarna” ili podjednako “prividna”. Jedini razlog zbog koga se referentni sistem uglavnom vezuje za veću česticu je taj što to olakšava rešavanje problema.

6. Antropocentrizam i antropomorfizam. Pri razmatranju kretanja iz određenog sistema reference, učenici često zamišljaju čoveka koji sedi u koordinatnom početku i odatle posmatra kretanje. Na primer, učenik koji ima ovu zablude će reći da se avion kreće sporije od ptice posmatrano iz referentnog sistema vezanog za zemlju jer se avion, koji je znatno dalje, sporije “pomera preko neba” od ptice. Dakle, brzina kretanja se poistovećuje sa onim što bi čovek video posmatrajući sa zemlje, a ne sa fizičkom definicijom brzine. Drugi primer antropocentrizma je odgovor učenika da je drvo deo referentnog sistema vezanog za vagon samo ako je dovoljno visoko da se iz vagona može i videti.

Kao što je pomenuto, ovo “počovečenje prirode” javlja se i prilikom razmatranja sila, gde se *delovanje* sile izjednačuje sa *osećajem* koji sila izaziva u telu. Osećaj dejstva sile na telo javlja se onda kada telo kontrahuje mišiće da bi sprečilo uzajamno kretanje njegovih različitih delova. Uzrok osećaja sile je pomenuto grčenje mišića, a ne dejstvo spoljne sile. Ilustracija ove tvrdnje je da astronaut u slobodnom padu u homogenom gravitacionom polju ne oseća dejstvo sile, iako na njega

deluje sila gravitacije, a razlog za to je odsustvo uzajamnog kretanja njegovih delova tela.

Da bismo ilustrovali zabludu u kojoj se osećaj sile poistovećuje sa delovanjem sile, razmotrimo situaciju kada je dete na vrtešci, a čovek stoji pored vrteške. Učenik koji ima pomenutu zabludu reći će da, posmatrano iz referentnog sistema vezanog za vrtešku, centrifugalna sila deluje na dete, jer ono oseća njeno dejstvo, ali *ne* i na čoveka jer on ne oseća delovanje ove sile. Korektno tumačenje dato je u odeljku 3.1.3.

7. Kriterijum (ne)inercijalnosti sistema. Prema ovoj zabludi, sistem je inercijalan ako smo “na njemu”, a neinercijalan je ako se kreće ubrzano kada se posmatra “spolja”. Na primer, ako učenik razmatra kretanje u odnosu na Zemlju, u zemaljskim uslovima, on će reći da je ona inercijalni sistem jer miruje. Ipak, ako razmatra kretanje u astronomskom smislu, on će tada reći da je Zemlja neinercijalni sistem jer se kreće po kružnici i rotira oko svoje ose. Dakle, Zemlja može biti i inercijalni i neinercijalni sistem, prema ovoj zabludi, zavisno od toga “odakle je gledamo”.

Ova zabluda može biti posledica toga što se u predavanjima retko naglašava da ne postoji *a priori* kinematički kriterijum za određivanje da li je sistem reference inercijalan ili ne, pa deca uvode sopstvene kriterijume. Dinamički kriterijum za određivanje (ne)inercijalnosti sistema opisan je u odeljku 3.1.1.

Zabluda srodna ovoj je da se inercijalnost i neinercijalnost nekog sistema određuju u odnosu na drugi sistem, umesto da se (ne)inercijalnost shvata kao svojstvo prirodno razmatranom sistemu.

Ako znamo da je neki sistem reference inercijalan, onda možemo tvrditi da je i sistem koji se u odnosu na njega kreće pravolinijski konstantnom brzinom takođe inercijalan. Na osnovu ove tvrdnje učenici često zastupaju zabludu da su dva sistema inercijalna ili *međusobno* inercijalna ako se kreću pravolinijski ravnomernom brzinom jedan u odnosu na drugi.

Na primer, ako se sistem S_1 kreće ravnomerno u odnosu na S_2 , ali ubrzano u odnosu na S_3 , učenici će reći da je on inercijalan u odnosu na S_2 a neinercijalan u odnosu na S_3 . Učenici, dakle, ne uviđaju da je (ne)inercijalnost sopstveno svojstvo sistema, pa sistem ne može biti i inercijalan i neinercijalan, zavisno od toga kako se posmatra.

3.3 Konceptualni test

U konceptualnom testu koji je priložen na kraju rada uključene su samo neke od učeničkih zabluda navedenih u prethodnom odeljku jer je za ostale bilo veoma teško formulirati kratka, jasna i neutralna pitanja koja bi mogla da provere ovo znanje na intuitivnom nivou. Drugim rečima, cilj je bio izbeći direktna pitanja tipa “Da li centrifugalna sila deluje na sva tela koja rotiraju?” jer se na taj način udaljavamo od suštine konceptualnih testova.

U pitanjima 1. i 2. razmatra se kretanje na platformi koja rotira i to iz dva referentna sistema, jednog koji rotira zajedno sa platformom i drugog, inercijalnog, postavljenog iznad platforme. Fizički ekvivalentna situacija, ali prenešena kroz drugačiji primer razmatra se u pitanjima 21. i 22.

U pitanjima 3. – 12. razmatra se slaganje brzina u različitim situacijama ravnomernog i ubrzanog kretanja, posmatrano iz različitih referentnih sistema. U ovoj grupi pitanja pokrivene su različite kombinacije parametara da bi se sa sigurnošću proverilo da učenik ima razumevanje opštih principa, a ne samo izolovanih situacija. Zbog prisustva velikog broja situacija koje proveravaju istovetno znanje, smanjena je mogućnost davanja tačnih odgovora na osnovu pogrešnog rezona.

U pitanju 13. proverava se učenička zabluda da su mala tela deo većeg sistema. Pitanje 14. bavi se tendencijom učenika da kretanja razmatraju iz “prirodnog” referentnog sistema.

Pitanje 15. proverava da li učenici uviđaju da su svi hici (vertikalni, horizontalni i kosi) ekvivalentni u dinamičkom smislu i predstavljaju kretanje u ravni pod dejstvom jedne sile (gravitacije). U okviru predavanja, vertikalni, horizontalni i kosi hitac se u kinematici izučavaju zasebno, kao odvojene pojave, dok su oni zapravo primeri jednog istog kretanja u dinamičkom smislu sa različitim izborom početnih uslova. Pitanja 16. i 17. ovo proveravaju na još apstraktniji način i ujedno dodatno proveravaju pomenutu učeničku zabludu da kretanje razmatraju iz privilegovanog “prirodnog” referentnog sistema (u ovom slučaju vezanog za tlo).

Pitanje 18. na direktan i pitanje 19. na posredan način proverava učeničko poznavanje Galilejeve invarijantnosti dužine, tj. prostornog rastojanja između dva istovremena događaja u različitim sistemima reference. Pitanje 20. proverava razumevanje invarijantnosti vremena.

Kao što je pomenuto, pitanja 21. i 22. razmatraju fizički istovetnu situaciju kao i pitanja 1. i 2. – kretanje na platformi koja rotira.

Pitanje 23. proverava prisutnost učeničke zablude da je referentni sistem ograničen dimenzijama konkretnog objekta i da pojave pripadaju određenom referentnom sistemu i, istovremeno, zabludu da su mala tela deo većeg sistema.

Uz svako pitanje u ovom testu dodata je četvorostepena skala uverenosti na kojoj učenici označavaju da li misle da je odgovor koji su dali tačan. Ponuđene su sledeće opcije: 1. Sigurno; 2. Mislim; 3. Sumnjam; 4. Pogađam.

Glava 4

Otklanjanje zabluda

4.1 Opšte napomene

Iako većina studenata može formalno navesti Njutnove zakone, to i dalje ne znači da je obrazovni zadatak nastave fizike ispunjen. Deklarativno znanje fizičkih zakona, bez njihovog adekvatnog razumevanja, ne ispunjava svrhu učenja fizike. Cilj nastave fizike jeste objašnjavanje prirodnih pojava tako da se one mogu predvideti, a stečena znanja primeniti.

Upravo zbog toga je adekvatno konceptualno znanje ključno za bavljenje fizikom. Prema rezultatima prezentovanim u [7], postoji određeni nivo konceptualnog znanja (koji je u slučaju FCI-a najmanje 60% uspešnosti) koji je neophodan za uspešno rešavanje računskih zadataka. Ispod ovog praga učenik nema dovoljno razumevanja osnovnih njutnovskih koncepata da bi uopšte mogao da rešava zadatke. Naravno, u tom slučaju nema ni govora o nekoj složenijoj primeni stečenih znanja iz fizike. Ovoj populaciji učenika, koji nemaju adekvatno konceptualno znanje, neophodno je posvetiti veliku pažnju i otkloniti većinu ili sve zablude jer će u suprotnom njihovo celokupno buduće obrazovanje u oblasti fizike biti uzaludno.

Već je naglašeno da zablude treba tretirati kao punopravne hipoteze koje treba oboriti i koje su duboko ukorenjene u intuiciji učenika. Zablude se mogu prevazići samo onda kada postoji bolje objašnjenje kojim se one mogu zameniti (npr. Njutnova mehanika). Slična stvar važi i u nauci – nijedna teorija ne biva napuštena sve dok se ne pojavi vredna alternativa.

Jedna od osnovnih prednosti Njutnove mehanike je da je ona koherentan sistem [7]. Zbog toga, ne treba svaku zabludu razrešavati zasebno, jednu po jednu, već je dovoljno studente pravilno naučiti Njutnovo mehanici kao sistemu poimanja sveta. U tom procesu, učeničke zablude će se prirodno pojaviti “na površini” kada god su u suprotnosti sa Njutnovom mehanikom

i tada ih nastavnik može razrešiti. Nastavnik će na osnovu svog znanja naslućivati te zablude, usmeriti pažnju studenata u svojim predavanjima na ključne stavke i razrešiti konflikt između starih i novih stavova pružajući adekvatno objašnjenje. Fokusirajući nastavu na učvršćenje njutnovskih konceptata, zablude će postepeno nestajati do konačnog prihvatanja njutnovskog pogleda na svet.

4.2 Konkretni saveti za poboljšanje nastave

U pokušaju da otkriju šta je to što fiziku čini teškom, istraživači su u radu [25] prezentovali veoma interesantnu ideju – univerzitetski profesori koji *ne* predaju fiziku imali su mogućnost da slušaju nastavu opšte fizike na fakultetu i daju svoje komentare. Opravdanje za ovu ideju je da je za ove profesore, slično studentima, fizika nov i nepoznat predmet, ali da oni, za razliku od studenata, imaju znatno bolji uvid u proces sopstvenog učenja, pa tako mogu dati korisne povratne informacije o prednostima i manama nastave. Analizom ovih odgovora, došlo se do različitih predloga za poboljšanje nastave, od kojih je neke jednostavno implementirati, dok neki zahtevaju sistemske promene. Neki od ovih predloga su sledeći:

1. Smanjiti tempo nastave. Bolje je preći manje gradiva, ali to uraditi temeljno, valjano i postići puno razumevanje, nego više tema preći užurbano i površno. Smanjenje tempa može se ostvariti na sledeći način: *a)* smanjenjem broja tema u okviru predmeta; *b)* dužim trajanjem nastave; *c)* uvođenjem pripreme nastave za dati predmet koja će se baviti načinom mišljenja, tehnikama rešavanja problema, matematičkim aparatom i sl.
2. Jasno i konkretno definisati ciljeve predmeta i navesti koja znanja i veštine studenti treba da steknu do kraja nastave.
3. Jasno naznačiti na koji način bilo koja od aktivnosti u okviru nastave vodi do ostvarenja prethodno definisanih ciljeva predmeta. Pored toga, potrebno je studentima eksplicitno naznačiti kako je ono što se od njih traži na konačnom ispitu povezano sa zadatim ciljevima predmeta.
4. Koristiti pedagoški orijentisan udžbenik. Studentima je potreban postepen uvod u novu materiju, pa je mnogo bolje koristiti udžbenik pisan sa tom namenom u poređenju sa, na primer, odlično napisanim udžbenikom koji je namenjen stručnjacima. Takođe, studentima treba u toku predavanja napomenuti koji su najvažniji delovi teksta na koje treba da obrate pažnju.

5. Povezati apstraktne koncepte sa konkretnim, poznatim primerima. Ovo se može postići odgovarajućom upotrebom demonstracija, laboratorijskih vežbi, video materijala i primera iz života.
6. Naglasiti profesor-student i student-student interakciju. Drugim rečima, nastava je efikasnija ako studenti aktivno učestvuju umesto da samo pasivno slušaju predavanje.
7. Obezbediti dovoljno znanje matematike. Iako znanje matematike nije dovoljno za pravilno razumevanje fizike, ono je ipak nužno za bavljenje fizikom i rešavanje konkretnih zadataka i problema. Znanje matematike može se proveriti različitim standardizovanim testovima, od kojih su neki po svom dizajnu slični konceptualnim testovima. Takođe, znanje matematike može se proveriti i unaprediti izradom računskih zadataka.
8. Diskutovati zanimljive probleme. Izvesno vreme treba posvetiti objašnjavanju pojava od velikog značaja (kao što je na primer kretanje planeta), umesto isključivog korišćenja “veštačkih” problema dizajniranih da razjasne određeni koncept. Učenici su zainteresovani za ovakve pojave jer su one deo njihovog života zbog prirodne ljudske radoznalosti ili zbog toga što su im u neposrednom okruženju.

4.3 Uloga demonstracija

Princip očiglednosti u nastavi fizike trebalo bi ostvariti demonstrirajući različite fizičke pojave na času. U našoj školskoj praksi se to retko primenjuje, bilo u nastavi u srednjim školama, bilo u nastavi na fakultetima.

Pravilno izvedene demonstracije razvijaju intuitivno razumevanje pojava i razumevanje i pamćenje fizičkih koncepata. Nas zanima *a*) uloga demonstracija u konceptualnom učenju; *b*) kako povećati efikasnost demonstracija.

“Izmami-suprostavi-razreši” (*elicit-confront-resolve*) je često korišćen pristup prilikom podučavanja koji pospešuje konceptualno učenje [26]. Suština ovog pristupa je:

1. Dovedi studenta u situaciju u kojoj je greška verovatna. U okviru demonstracija, ovaj korak bi podrazumevao izbor one demonstracije pri čijem objašnjenju studenti obično greše i pokazuju nerazumevanje fizičkih pojava.
2. “Izvući” ideje studenta o datoj situaciji i otkriti njegove koncepcije o datom fizičkom problemu. U okviru demonstracija, ovo se postiže time što se od studenta zahteva da predvidi ishod demonstracije.

3. Suprostaviti se zabludi *a)* razotkrivanjem greške, tako da ona studentu bude očigledna; *b)* ukazivanjem na nekonzistentnost mišljenja. U okviru demonstracija, ovo se postiže samom demonstracijom gde se student neposredno uverava da je njegovo predviđanje pogrešno.
4. Razrešiti nekonzistentnost mišljenja – provesti studenta kroz odgovarajući proces mišljenja i zaključivanja koji će mu omogućiti da novi koncept uklopi u postojeće znanje i iskustvo. U okviru demonstracija, ovo podrazumeva objašnjavanje same pojave i njenih uzroka.

Opisani pristup se često naziva i “predvidi-posmatraj-objasni” (*POE: predict-observe-explain*) kada se koristi prilikom demonstracija pojava u fizici.

Pokazano je (prema [27]) da *jedino* demonstracije koje imaju element predviđanja rezultata ostvaruju efekat u podučavanju! Proučavane su sledeće varijante:

1. Nastava bez demonstracija. Ovo je kontrolna grupa za istraživanje.
2. Studenti pasivno posmatraju demonstraciju. U ovoj grupi primenjen je tradicionalni način demonstriranja fizičkih pojava, gde nastavnik izvodi demonstraciju i daje objašnjenje prikazanih pojava.
3. Studenti predviđaju ishod demonstracije pre njenog izvođenja. U ovoj grupi studenti su imali nekoliko minuta da razmisle i odluče se za jedan od ponuđenih odgovora na pitanje o ishodu demonstracije, u maniru konceptualnog testa. Studenti su razmišljali zasebno, bez međusobne diskusije. Nakon toga, nastavnik je izveo demonstraciju i objasnio fizičku suštinu prikazanih pojava.
4. Studenti predviđaju ishod *pre* i diskutuju o ishodu *nakon* demonstracije. U ovoj grupi, studentima je postavljeno “otvoreno” pitanje o ishodu demonstracije (bez unapred ponuđenih odgovora) na koje su oni morali da daju odgovor. Nakon toga, nastavnik je izveo demonstraciju, a zatim su studenti diskutovali među sobom u grupama od po 3-4 studenta o ishodu demonstracije. Tek nakon ove diskusije studenata među sobom, nastavnik je davao objašnjenje demonstrirane pojave.

Ne iznenađuje činjenica da učinak demonstracije raste sa rednim brojem nabrojane varijante, međutim ono što iznenađuje je da je pasivno posmatranje demonstracije imalo praktično isti efekat¹⁶ kao i nastava bez demonstracija! Dakle, ako studenti ne predvide rezultat demonstracije koju će posmatrati, to je istovetno kao da demonstraciju nisu ni videli.

¹⁶Preciznije rečeno, studenti druge grupe ostvarili su, statistički posmatrano, zanemarljivo malo poboljšanje rezultata.

Uzimajući u obzir pomenute zaključke, o demonstraciji pojave u nastavi ima smisla govoriti *samo* ako studenti predvide rezultat demonstracije. S obzirom na to da je za predviđanje potrebno kratko vreme od svega nekoliko minuta, to uvek treba i učiniti. Ovde treba naglasiti da i dalje razmatramo vrlo ekonomičan, tradicionalni pristup nastavi fizike, tako da je pomenute inovacije veoma lako uključiti u nastavu jer ne zahtevaju promenu čitavog sistema.

Predviđanja su, dakle, ključni deo procesa demonstracije, te je u radu [26] proučeno kako predviđanje studenata utiče *a)* na to kako će oni protumačiti demonstraciju; *b)* na to da li će studenti ispravno zapamtiti ishod demonstracije. Istraživanje je urađeno na sledeći način:

1. Studentima je dat konceptualni test koji se sastojao od 2-4 pitanja.
2. Od studenata se tražilo da predvide ishod demonstracije odgovarajući na pitanje sa ponuđenim odgovorima koji pokrivaju sve moguće ishode demonstracije.
3. Izvođenje demonstracije.
4. Studentima je dat konceptualni test sa novim pitanjima približno iste težine.
5. Prvog dana nakon demonstracije, od studenata se tražilo da kažu šta je bio ishod demonstracije odgovarajući na postavljena pitanja.
6. Na kraju datog polugodišta, od studenata se tražilo da kažu šta je bio ishod demonstracije odgovarajući na ista pitanja kao i prvog dana nakon demonstracije.

Konceptualni testovi pre i posle demonstracije, kao i sama demonstracija, odnosili su se na isti fizički koncept i njihov cilj bio je da izmere porast konceptualnog znanja usled demonstracije.

Rezultati istraživanja opisani u [26] pokazuju da čin predviđanja rezultata demonstracije pozitivno utiče na njeno pravilno tumačenje. Studenti koji su predviđali *ishod* demonstracije, bilo tačno, bilo netačno, znali su, u značajno većem procentu da ispravno kažu *rezultat* demonstracije (bilo jedan dan nakon nje, bilo na kraju polugodišta) u odnosu na studente koji nisu vršili predviđanje. Istina, studenti koji su tačno predvideli ishod imaju nešto bolji procenat tačnih odgovora o ishodu demonstracije, ali razlika nije velika. Takođe, procenat tačnih odgovora nakon jednog dana i na kraju polugodišta se promenio, ali ne značajno. Podatak koji je zabrinjavajuć je da je gotovo svaki peti student pogrešno video ishod demonstracije, odnosno dao pogrešan

izveštaj o tome šta se desilo! Ono što, takođe, iznenađuje je da je čak 16% studenata koji su dali *tačno* predviđanje ishoda, nakon demonstracije dalo *netačan* izveštaj o tome šta se desilo.

Druga veza koja je proučena u [26] je na koji način konceptulno znanje utiče na tačnost izveštaja o demonstraciji. Pokazano je da prvog dana nakon demonstracije razlika nije velika, dok se na kraju polugodišta vidi značajna razlika od 21% između studenata sa dobrim konceptualnim znanjem (gornja trećina rezultata predtesta) i onih sa slabim konceptualnim znanjem (donja trećina rezultata predtesta).

Što se tiče konceptualnog učenja, rezultati potvrđuju zdravorazumsku pretpostavku da će oni studenti koji su pravilno protumačili demonstraciju više i naučiti.

Glava 5

Zaključak i dalja istraživanja

U radu je skrenuta pažnja na veliki značaj intuitivnog znanja učenika i njihovih predubeđenja i zabluda za nastavu fizike, kao i na značaj konceptualnog testiranja koje omogućuje da se ove pojave kvantifikuju. Takođe, u ovom radu nastavnik može naći dovoljno korisnih saveta koje može odmah primeniti u nastavnoj praksi, u okviru tradicionalne razredno-časovne nastave fizike. Ovo je veoma bitno jer bilo koja strukturna promena sistema zahteva veliki utrošak materijalnih sredstava i za nju je potrebno puno vremena da bi se implementirala. U tom smislu, saveti navedeni u ovom radu su dovoljno "štedljivi", a u isto vreme i dovoljno bitni, da bi njihova upotreba bila opravdana.

Jedna od mogućnosti za dalji rad u ovoj oblasti jeste prevođenje postojećih konceptualnih testova iz najznačajnijih oblasti fizike na srpski, kako bi oni bili spremni za eventualnu upotrebu od strane nastavnika i profesora u Srbiji. Nakon testiranja učenika na dovoljnom velikom uzorku može se pristupiti analizi ovih rezultata i poređenju sa rezultatima zabeleženim u drugim zemljama, bilo u okruženju, bilo na svetskom nivou.

Do sada je jedino preveden FCI (konsultovati [8]) i izvršeno je testiranje učenika na maloj populaciji (videti [2]), pa bi dalji rad mogao biti usmeren ka *a*) podizanju svesti o značaju učeničkih predubeđenja; *b*) popularizaciji konceptualnih testova; *c*) postepenom uključivanju ovih testova u domaću pedagošku praksu – prvo FCI-a, a zatim i ostalih.

Druga mogućnost za dalje istraživanje jeste testiranje učeničkog razumevanja klasične relativnosti na velikoj populaciji učenika i studenata. Koristeći te podatke, moguće je, statističkim metodima opisanim u odeljku 2.3, utvrditi da li je novi test koji je predstavljen u ovom radu validan i pouzdan merni instrument. Ovo istraživanje, kao i detaljnija konsultacija sa profesorima i studentima, sigurno će usloviti promene sadašnje preliminarne verzije testa.

Treća mogućnost za dalje istraživanje je podizanje konceptualnih testova

“na viši nivo”, odnosno na nivo visoke tehnologije, upotrebom računara. Kao što je napomenuto, upotreba moderne tehnologije otvara sasvim nove mogućnosti koje tradicionalno testiranje upotrebom štampanog materijala ne dozvoljava. Zbog toga što je veoma aktuelna u svakodnevnom životu sadašnjih i budućih studenata i zbog fleksibilnosti koje nosi sa sobom, upotreba modernih tehnologija može biti veoma korisna za pedagogiju i metodiku nastave. Ona, dakle, ima potencijal da se iskoristiti i za bolju proveru i za efikasniju promenu intuitivnog znanja učenika.

Literatura

- [1] Ibrahim Halloun and David Hestenes. The initial knowledge state of the college physics students. *Am. J. Phys.*, 53(11):1043–1055, 1985.
- [2] Nada Cvejić. Aristotelovski i njutnovski koncepti u mehanici i učeničke pretkonceptije. Master rad, PMF Niš, 2013.
- [3] Melissa H. Dancy and Robert Beichner. Impact of animation on assessment of conceptual understanding in physics. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 2:010104, Mar 2006.
- [4] Adam Lark. Student misconceptions in newtonian mechanics. Master's thesis, Graduate College of Bowling Green State University, 2007.
- [5] Maja Planinić, Lana Ivanjek, and Ana Sušac. Analiza fci testa. *Osmi hrvatski simpozij o nastavi fizike, Zbornik radova: Nastava fizike za prirodoznanstvenu pismenost.*, 8:225–227, 2008.
- [6] Ivana Bilić. Korelacije konceptualnih testova iz mehanike i znanstvenog zaključivanja. Master rad, PMF Zagreb, 2008.
- [7] David Hestenes, Malcolm Wells, and Gregg Swackhamer. Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 1992.
- [8] Miloš Jonić. Force concept inventory test i njegov značaj. Seminarski rad, PMF Niš, 2013.
- [9] David Hestenes. Who needs physics education research!? *American Journal of Physics*, 66(6), 1998.
- [10] Jovica Ranđelović. *Pedagogija; profesionalna pedagoška znanja nastavnika*. PMF Niš, 2010.
- [11] J. S. Aslanides and C. M. Savage. Relativity concept inventory: Development, analysis, and results. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 9:010118, May 2013.

- [12] Mieke De Cock. Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 8:020117, Nov 2012.
- [13] Pasi Nieminen, Antti Savinainen, and Jouni Viiri. Force concept inventory-based multiple-choice test for investigating students' representational consistency. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 6:020109, Aug 2010.
- [14] Lin Ding, Neville W. Reay, Albert Lee, and Lei Bao. Effects of testing conditions on conceptual survey results. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 4:010112, Jun 2008.
- [15] Sudhir Panse, Jayashree Ramadas, and Arvind Kumar. Alternative conceptions in galilean relativity: frames of reference. *International Journal of Science Education*, 16(1):63–82, 1994.
- [16] <http://www2.ph.ed.ac.uk/AardvarkDeployments/Public/60100/views/files/ConceptualTests/Deployments/ConceptualTests/deploymentframeless.html>, posećen septembra 2014.
- [17] <http://www.physics.umd.edu/perg/tools/diags.htm>, posećen septembra 2014.
- [18] <http://www.ncsu.edu/per/TestInfo.html>, posećen septembra 2014.
- [19] Jayashree Ramadas, Shrish Barve, and Arvind Kumar. Alternative conceptions in galilean relativity: inertial and non-inertial observers. *International Journal of Science Education*, 18(5):615–629, 1996.
- [20] Emilo Danilović, Milan Raspopović, and Svetozar Božin. *Fizika za 1. razred gimnazije*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2003.
- [21] Božidar Milić. *Njutnova mehanika*. Izdavačka jedinica Univerziteta u Nišu, 1983.
- [22] Milan Raspopović, Dragiša Ivanović, Jezdimir Tomić, Dragomir Krpić, and Bojana Nikić. *Fizika za 6. razred osnovne škole*. Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2001.
- [23] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker. *Fundamentals of Physics*. John Wiley & Sons, 2010.
- [24] Arvind Kumar. Pitfalls in elementary physics. *Resonance*, 3(4):94–102, 1998.

- [25] Shiela Tobias and Richard Hake. Professors as physics students: What can they teach us? *Am. J. Phys.*, 56(9):786–794, September 1988.
- [26] Kelly Miller, Nathaniel Lasry, Kelvin Chu, and Eric Mazur. Role of physics lecture demonstrations in conceptual learning. *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, 9:020113, Sep 2013.
- [27] C. H. Crouch, A. P. Fagen, J. Paul Callan, and E. Mazur. Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? *Am. J. Phys.*, 72:835–838, 2004.