

**ODJEL ZA FIZIKU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET
SVEUČILIŠTE U SPLITU**

Ivan Novosel

Eksperiment u nastavi kvantne fizike

DIPLOMSKI RAD

Mentor: doc. dr. sc. Dejan Vinković



Split, prosinac 2012.

ZAHVALA

Ovaj diplomski rad posvećujem svojoj majci. Mama, hvala ti na beskonačnom strpljenju i svemu što si mi pružila tijekom mog studija.

Zahvaljujem svima koji su mi pomogli pri izradi ovog rada svojim savjetima, preporukama i prosljeđivanjem upitnika nastavnicima. Posebno se zahvaljujem dr. sc. Ivici Luketinu i mom mentoru doc. dr. sc. Dejanu Vinkoviću.

Hvala i Čumezovcima, te ekipi Ljetne tvornice znanosti na dugogodišnjoj podršci, a posebno hvala Meri zato što me dijelila s "gospođicom kvantnom".

Sažetak

U ovom diplomskom radu prikazan je rezultat istraživanja o mogućnostima korištenja eksperimenata u nastavi kvantne fizike po hrvatskom srednjoškolskom programu. Napravljen je pregled istraživanja vezan uz korištenje eksperimenata u nastavi kvantne fizike, te je na bazi toga zaključeno da su za korištenje u nastavi najpraktičniji eksperimenti koji se tiču fotoelektričnog efekta i spektroskopije. Provedeno je anketno istraživanje o mišljenjima i iskustvima koje nastavnici fizike imaju o korištenju eksperimenata u nastavi fizike općenito, specifično u kvantnoj fizici, te mišljenja o specifičnim eksperimentima iz spektroskopije i fotoelektričnog efekta. Zbog malog odziva nastavnika nije moguće izvesti reprezentativne zaključke. No iz prikupljenih odgovora zaključeno je da su nastavnici otvoreni prema korištenju eksperimenata, iako potencijalno precjenjuju pozitivne učinke korištenja eksperimenata u nastavi kvantne fizike.

Summary

This thesis presents the research results regarding the possibility of using experiments in quantum physics classes in the Croatian secondary school educational programme. A review of previous research on the use of experiments in quantum physics classes is presented and, on that basis, concluded that the most practical teaching experiments are those dealing with the photoelectric effect and spectroscopy. A questionnaire was administered to teachers regarding their experiences and opinions on using experiments in physics classes generally, in quantum physics specifically, as well as opinions on experiments in spectroscopy and the photoelectric effect. Number of respondents to the questionnaire was low so it wasn't possible to make representative conclusions. From gathered answers it was concluded that teachers are open to the use of experiments, despite their tendency to overrate the positive effects of their use in quantum physics classes.

Sadržaj

Popis slika.....	3
Popis tablica.....	4
1. Uvod.....	5
1.1 Eksperiment u nastavi.....	6
1.1.1 Što je točno eksperiment?.....	6
1.1.2 Uloga i učinkovitost eksperimenta u nastavi.....	8
1.1.3 Općenite preporuke za korištenje eksperimenta u nastavi fizike.....	11
1.2 Nastava kvantne fizike.....	13
1.2.1 Teme istraživanja u nastavi kvantne fizike.....	13
1.2.2 Trenutačno stanje u nastavi kvantne fizike.....	14
2. Korištenje eksperimenata u nastavi kvantne fizike.....	17
2.1 Odabir eksperimenata.....	17
2.1.1 Fotoelektrični efekt.....	17
2.1.2 Valno-čestična priroda svjetlosti i materije.....	18
2.1.3 Kvantizacija energije u atomu i atomski modeli.....	19
2.2 Ispitivanje trenutačnog stanja u školama.....	21
3. Rezultati.....	23
3.1 Stavovi i iskustva nastavnika.....	24
3.2 Mišljenje o konkretnim eksperimentima iz kvantne fizike.....	28
4. Rasprava.....	32
5. Zaključak.....	35
6. Literatura.....	36
Prilog - Upitnik korišten u istraživanju.....	40

Popis slika

Slika 1: Model za oblikovanje i provjeru zadataka i akcija u obrazovanju znanosti	7
Slika 2: Kako nastavnici koriste eksperiment u nastavi fizike	24
Slika 3: Učestalost korištenja eksperimenata	25
Slika 4: Interes nastavnika za korištenje spektroskopa i postava upravljanog na daljinu	29
Slika 5: Interes nastavnika za popratne obrazovne materijale	30

Popis tablica

Tablica 1: Gdje nastanici predaju	23
Tablica 2: Prikaz iskustva nastavnika u podučavanju fizike	23
Tablica 3: Prepreke na koje nastavnici nailaze pri korištenju eksperimenata	27

1. Uvod

Kvantna teorija je jedna od središnjih teorija u fizici. Objašnjava fizikalne pojave na atomskoj i subatomskoj razini, te je svoju široku primjenu našla i u drugim područjima znanosti kao i u novim tehnologijama koje nas svakodnevno okružuju. Logično je da onda zauzima važno mjesto i u nastavi fizike - značajan dio studija fizike posvećen je konceptima iz kvantne teorije, a osnovne ideje se nalaze i u nastavnim programima hrvatskih srednjih škola.

No unatoč svojoj važnosti na teme iz kvantne fizike ne troši se mnogo vremena na pred fakultetskoj razini, a i na samim studijima fizike ideje iz kvantne teorije uče se na kasnijim godinama studija. Uglavno se to opravdava time da je kvantna fizika *teška* - npr. koncepti iz kvantne fizike opisuju se kao *čudni* i *kontraintuitivni* (Müller i Wiesner, 2002), a popularni citat Richarda Feynmana da "*nitko ne razumije kvantnu mehaniku*" navodi se u popularnoj literaturi, ali i istraživačkim člancima (npr. Singh, Belloni i Christian, 2006). Istraživanja u nastavi kvantne fizike upućuju na to da mnogi studenti stvarno i imaju problema sa shvaćanjem kvantne fizike, a rezultate nekih od istraživanja izložit ću kasnije u ovom poglavlju.

Jedan od razloga nepristupačnosti kvantne fizike je i taj što je fenomene iz tog područja teško opažati. Pojave iz kvantne fizike uglavnom se manifestiraju na atomskoj razini pa učenici nemaju mogućnost lakog opažanja pojava ili prethodnog životnog iskustva, kao što to imaju u drugim područjima fizike. Način na koji se ova situacija može prebroditi je uvođenje eksperimenta u nastavu kvantne fizike, kojima bi cilj bio olakšati konceptualno razumijevanje kvantne fizike.

Iz tog razloga u ovom radu se bavim korištenjem eksperimenta u nastavi kvantne fizike. Cilj je istražiti već postojeća rješenja za korištenje eksperimenta u kvantnoj fizici, te istražiti kako se ta rješenja mogu uklopiti u srednjoškolsku nastavu u hrvatskim školama, ali i na uvodnoj razini preddiplomskih studija fizike.

Kao što je kvantna teorija jedna od osnovnih teorija u fizici, tako je izvođenje eksperimenta jedna od osnovnih aktivnosti u nastavi fizike. S obzirom na to da je fizika empirička znanost u kojoj se, između ostalog, promatranjem dolazi do zaključaka mnogi smatraju da je eksperiment okosnica nastave fizike. Istraživanja o praktičnom radu u nastavi znanosti (eng. science education) također naglašavaju važnost eksperimenta, kao što ističu da je eksperiment specifičan za nastavu znanosti u odnosu na društvene discipline (Hofstein i Lunetta, 2004). S druge strane ta istraživanja pokazuju da postoji nesrazmjer između proklamirane važnosti

eksperimenta u nastavi, te njegove stvarne zastupljenosti u nastavi kao i kvalitetne uporabe (u smislu pospješenog učenja).

Iz tog razloga potrebno je kritično razmotriti način na koji se eksperiment može integrirati u postojeću nastavu kvantne fizike, u sprezi s ostalim metodama koje su se pokazale korisne. Zato ću u nastavku izložiti pregled istraživanja vezanih uz korištenje eksperimenata u nastavi te istraživanja vezana uz podučavanje kvantne fizike.

1.1 Eksperiment u nastavi

1.1.1 Što je točno eksperiment?

U užem smislu, eksperiment je metoda kojom se na sustavan način provjerava valjanost hipoteze. No u nastavi se naziv eksperiment koristi za širok raspon aktivnosti, od kojih neke nemaju puno veze s eksperimentiranjem. Također pregledom strane literature pokazuje se da u različitim zemljama koriste različita nazivlja, pa ću zato na početku pokušati definirati što sve naziv *eksperiment* obuhvaća.

Wellington (1998) preporuča da se naziv eksperiment prestane koristiti kao univerzalni naziv, te identificira šest tipova aktivnosti koje naziva oblicima praktičnog rada:

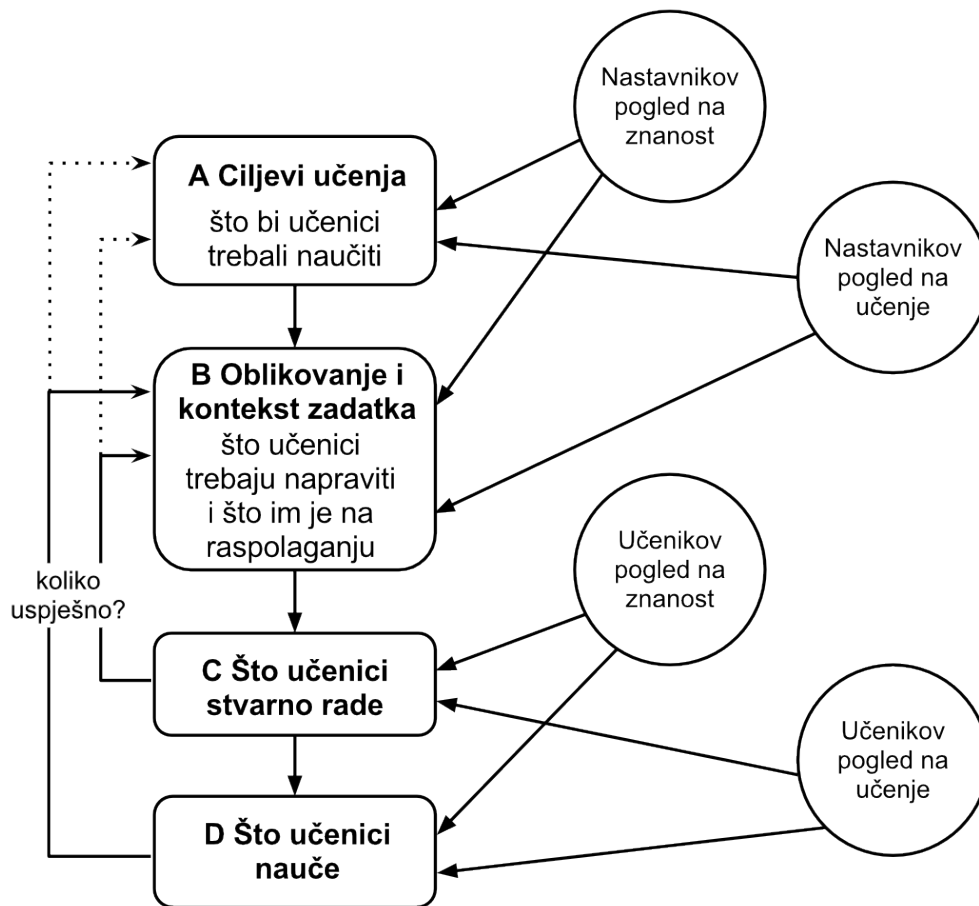
“Demonstracijski pokusi, praktične aktivnosti u kojima cijeli razred radi slične aktivnosti, rad u malim skupinama, “krug eksperimenata” gdje male grupe učenika kružno prolaze kroz različite aktivnosti, istraživanja (eng. investigations) organizirana na jedan od dva prethodna načina i aktivnosti rješavanja problema.”
(str. 12)

Također napominje i da korištenje drugačijih izraza nije samo semantičke naravi, već ima praktične posljedice, pošto učenici uz naziv eksperiment povezuju *nova otkrića*, dok je većina praktičnog rada u nastavi vezana uz potvrđivanje već postojećeg znanja.

Hofstein i Lunetta (2004) u svojem pregledu istraživanja o laboratorijskoj nastavi daju sljedeću općenitu definiciju:

“U ovom pregledu definiramo laboratorijske aktivnosti kao iskustva u kojima studenti rade s fizičkim materijalima i/ili modelima kako bi opažali i shvatili prirodni svijet”.

Iz ove definicije se vidi da autori koriste naziv laboratorijske aktivnosti za vrlo širok raspon mogućih aktivnosti, koje ne moraju nužno imati veze s laboratorijem. U posljednjem pregledu istraživanja koje je radilo Kraljevsko znanstveno društvo (Dillon, 2008) upozorava se na to da istraživači i prosvjetni radnici iz različitih zemalja koriste različite nazive za slične aktivnosti -



Slika 1: Model za oblikovanje i provjeru zadataka i akcija u obrazovanju znanosti (Millar i sur. 2005)

u SAD-u je uvriježen naziv *laboratorijske aktivnosti* (eng. laboratory in science education), u Velikoj Britaniji koristi izraz *praktični rad* (eng. practical work in school science), a u Hrvatskoj se kao općeniti naziv koristi *eksperiment* (Krsnik, 2008). Uz ove općenite nazive koriste se i drugi nazivi koji se vežu uz specifične aktivnosti.

Kako bi se preciznije definiralo različite aktivnosti Millar i sur. (2005) su predložili klasifikaciju praktičnog rada koja se temelji na tri glavne dimenzije sa nekoliko poddimenzija:

A Obrazovni cilj

B1 Oblikovanje zadataka

- što bi učenici trebali napraviti s objektima i opservablama
- što bi učenici trebali napraviti s idejama
- jesu li zadatci orijentirani prema promatranju ili prema idejama
- razina otvorenosti/zatvorenosti zadataka
- razina uključenosti učenika u izvođenje zadataka

B2 Kontekst zadataka

- trajanje zadataka
- osobe s kojima učenik interreagira za vrijeme izvođenja zadatka
- dostupni izvori informacija
- tip opreme koja se koristi

Ovakva klasifikacija ne definira eksperimente kao jednoznačnu aktivnost već omogućava proučavanje praktičnih aktivnosti ovisno o njihovoj namjeni i načinu izvedbe. Klasifikacija se temelji na modelu za usporedbu i vrednovanje praktičnog rada (Millar i sur. 2005), koji razlikuje četiri stadija kod proučavanja praktičnog rada. Obrazovni cilj je vezan uz A razinu (A razina, slika 1), dok su dimenzije oblikovanja i konteksta zadataka vezane uz B razinu (B razina, slika 1).

Ovaj model se može koristiti kao osnova za procjenu različitih aspekata praktičnog rada u nastavi, od uloge eksperimenta u nastavi do njegove učinkovitosti u ostvarivanju obrazovnih ciljeva. U ovom radu naziv eksperiment koristim kao općeniti naziv za široki raspon aktivnosti pošto je tako uobičajeno u hrvatskoj literaturi, ali ću se koristiti ovim modelom kod opisivanja konkretnih praktičnih aktivnosti.

1.1.2 Uloga i učinkovitost eksperimenta u nastavi

Ranije sam naveo da se eksperiment smatra jednom od temeljnih nastavnih metoda u podučavanju znanosti pa je zbog toga interesantno ispitati koju ulogu eksperiment igra u nastavi, te koliko su te metode uspješne u proklamiranim ciljevima.

S obzirom da su nastavnici ti koji određuju kakvu nastavu će izvoditi mnoga istraživanja su se usmjerila na ispitivanje nastavnčkih stavova prema eksperimentu u nastavi. U sklopu europskog projekta “Laboratorijske aktivnosti u obrazovanju znanosti”, koji je ispitivao stanje u Danskoj, Velikoj Britaniji, Francuskoj, Italiji, Grčkoj i Njemačkoj (Séré i sur., 1998) između ostalog ispitivani su i stavovi nastavnika (srednjoškolska i visokoškolska razina) vezani uz korištenje eksperimenata u nastavi. Više od 40% nastavnika smatralo je najvažnijim ciljem povezivanje teorije s praksom, s time da su nastavnici fizike osobito naglašavali upravo ovaj cilj. Učenje eksperimentalnih vještina i učenje znanstvenog razmišljanja bili su rangirani visoko po važnosti, dok su motiviranje učenika i procjena znanja označeni kao manje važni. Također nađene su tek manje varijacije po važnosti ciljeva među zemljama, unatoč tome što količina eksperimentalnog rada u nastavi jako varira među zemljama gdje je provedeno istraživanje (ovo je detaljnije objašnjeno u kasnijoj sekciji o trenutnom stanju eksperimenta u nastavi).

U Velikoj Britaniji gdje je korištenje eksperimenata u nastavi jače zastupljeno (TIMSS, 1997, Séré i sur., 1998) postoji više istraživanja koja su ispitivala stavove nastavnika, a Wellington (1998) sažimlje argumente nastavnika za korištenje eksperimenata u tri kategorije:

“Kognitivni argumenti: argumentira se da praktične aktivnosti mogu poboljšati razumijevanje znanosti i unaprijediti konceptualni razvoj učenika tako što im omogućava da vizualiziraju znanstvene zakone i teorije. Praktične aktivnosti ilustriraju, potvrđuju ili pojačavaju ‘teorijske aktivnosti’.

Afektivni argumenti: praktični rad je motivirajuć i uzbudljiv, te generira interes i entuzijazam. Pomaže učenicima kako bi zapamtili stvari, tj. kako bi se gradivo ‘prilijepilo’.

Razvoj vještina: argumentira se kako praktični rad ne razvija samo manipulativne ili motoričke vještine, već razvija i vještine više razine koje se transferiraju u druge domene, poput promatranja, mjerenja, predviđanja i zaključivanja. Za te univerzalne vještine govore kako posjeduju općenitu vrijednost za život i rad, uz to što su korisne u znanosti.” (str. 7)

Tobin (1990) napominje da su laboratorijske aktivnosti interesantne zato što postoji mogućnost učenja s razumjevanjem i konstrukcije znanja kroz znanstvena istraživanja. Sve ovo upućuje na to da eksperimentiranje igra važnu ulogu u nastavi, barem što se nastavnika tiče. Također na bazi modela prikazanog na 1. slici moguće je ispitati koliko uspješno se ostvaruju zacrtani ciljevi i da li eksperiment u nastavi doista ima sve prednosti za koje nastavnici misle da ima.

Dosadašnja istraživanja upućuju na to da se eksperiment u nastavi može uspješno koristiti kako bi se ostvarili neki od općih ciljeva, ali da se to zbog načina izvođenja rijetko događa. Noviji pregledi područja (Hofstein i Lunetta, 2004, Dillon, 2008) navode da većina istraživanja upućuje na to da se kod praktičnih aktivnosti većina vremena troši na manipulativne aktivnosti, te da iz tog razloga ne uspijevaju u osnovnom cilju - *povezivanju teorije s praksom*.

Jedan od novijih primjera takvog istraživanja je napravljen u Velikoj Britaniji (Abrahams i Millar, 2008), gdje su autori promatrali 25 različitih nastavnih jedinica iz biologije, fizike i kemije u obliku laboratorijskih vježbi (male grupe učenika koje samostalno rukuju materijalima kako bi obavili promatranja i izveli zaključke). Učenici su bili između 11 i 16 godina starosti. Autori su uočili da su sve nastavne jedinice bile usmjerene na podučavanje određenih znanstvenih ideja, s tim da nastavnici nisu trošili vrijeme na općenite aspekte znanstvenih metoda čak ni kad je za to bilo prilike. Od 25 promatranih nastavnih jedinica

samo u jednoj je potrošena značajna količina vremena na objašnjavanje znanstvenih ideja i modela, u svim ostalima većina vremena potrošena je na objašnjavanje što raditi s materijalima i učeničko manipuliranje materijalima. U toj jednoj nastavnoj jedinici uočeno je da učenici uspješno povezuju znanstvene ideje s promatranjima koja su sami radili, u ostalim jedinicama do toga nije došlo. Kasnijim ispitivanjem prisjećanja nakon duljeg perioda ispostavilo se da se učenici uglavnom prisjećaju samo vizualno upečatljivih demonstracijskih pokusa ili određenih radnji koje su obavljali, no ne i zašto su izvodili te radnje ili znanstvenih ideja koje se vežu uz te aktivnosti.

Slične nalaze navode Tobin (1990) vezano uz iskustva u SAD-u, kao i europski projekt koji je ispitivao stanje u pet zemalja EU na bazi 23 analize slučaja (Séré i sur., 1998, 6. poglavlje). Iz ovog konkretnog primjera vidljivo je kako je učenje znanstvenih ideja isključivo kroz promatranje i manipuliranje fizičkim objektima praktički nemoguće, tj. da se bez nastavničke pomoći u izgradnji konceptualnih modela ne može povezati "teoriju s praksom". Također čini se da nastavnici pretpostavljaju da će učenici samo kroz manipuliranje naučiti eksperimentalne metode i način znanstvenog razmišljanja, za što ne postoje značajni pokazatelji. Učenici imaju drugačiju percepciju uloge i važnosti eksperimenta u nastavi i ovi ciljevi su im manje važni nego nastavnicima (Wilkenson i Ward, 1997), pa je malo vjerojatno da će učenici sami od sebe usvojiti takve vještine.

White i Gunstone (1992) sugeriraju da u praktične aktivnosti obavezno treba integrirati manipuliranje idejama, a ne samo materijalima. Također preporučuju eksperimente miješati s demonstracijskim pokusima u kojima se od učenika prije promatranja zahtijeva da daju predviđanje što će se desiti, te se samo promatranje upotpunjuje s objašnjenjima nastavnika. Driver (1995) napominje da je nužno da učenici komuniciraju s autoritetom (nastavnikom) kako bi mogli doći do spoznaja koje su u suglasju sa prihvaćenim znanstvenim stajalištima.

Cerini i sur. (2003) pitali su britanske učenike (uzrast 16-19 godina) da odaberu tri metode koje im se čine korisnima i učinkovitima i tri metode koje im se čine najugodnijima. Na skali ugone tri najpopularnije metode su *odlazak na izlet ili ekskurziju* (85%), *gledanje videa* (75%) i *izvođenje eksperimenta u razredu* (71%). Poredak za percepciju korisnosti i učinkovitosti je *vođenje rasprave u razredu* (48%), *vođenje bilješki onoga što nastavnik govori* (45%) i *izvođenje eksperimenta u razredu* (38%). Drugo pitanje u istom upitniku "Kad bi se količina praktičnih aktivnosti u nastavi povećala, na koji način bi NAJVIŠE utjecala na učenje?" daje dodatnu informaciju o stavu učenika, tj. za što oni misle da su eksperimenti najkorisniji. 12% ispitanika misli da bi im to omogućilo da više cijene znanstvene sadržaje, 47% ispitanika misli

da bi im to olakšalo razumijevanje teorije, 30% ispitanika misli da bi više uživali u znanosti, a 11% misli da bi bili više motivirani.

Ovi rezultati sugeriraju da učenici smatraju eksperimente važnim i ugodnim aktivnostima, te bi se iz toga moglo zaključiti da eksperimenti u nastavi ispunjavaju motivacijski cilj, tj. da mogu pomoći u motiviranju učenika. No vidi se da i kod učenika postoji raskorak između toga što misle da je korisno, a što je ugodno, te da 47% ispitanika misli da im eksperimenti olakšavaju razumjevanje u isto vrijeme dok istraživanja sugeriraju da većina praktičnog rada u školi ne uspjeva u tome.

1.1.3 Općenite preporuke za korištenje eksperimenta u nastavi fizike

Unatoč mogućim problemima u izvođenju eksperimenta u nastavi produktivnije je pitati se kako ih koristiti na praktičan i učinkovit način. Za nastavu fizike Etkina i sur. (2002) predlažu izvođenje aktivnosti koje se mogu analogno pronaći i u normalnoj fizičarskoj praksi, te ih dijeli u tri kategorije:

1. Opservacijski eksperimenti - promatranje nove pojave, služe za stvaranje novog modela koji bi potencijalno mogao objasniti pojavu
2. Eksperimenti za testiranje teorije ili modela - služe za testiranje hipoteza i predikcija
3. Eksperimenti primjene - ovi eksperimenti koriste saznanja koja su modelirana ranije kako bi se objasnila neka druga pojava ili konstruirao neki uređaj

Ako se ovi eksperimenti koriste sekvencijski, taj proces donekle oponaša praksu istraživanja u fizici. Ova podjela koristi se kako bi se napravio odmak od klasične nastave u kojoj se u pravilu koriste demonstracijski pokusi kako bi nastavnik objasnio neki pojam, te laboratorijske vježbe koje se koriste kako bi se već naučene ideje “dokazale”. Ovdje dakako treba pripaziti na ono što je prije prepoznato u istraživanjima. Nije dovoljno da učenici sami izvršavaju zadatke već je potrebna stalna komunikacija s nastavnikom kako bi se osiguralo da se uče znanstveno ispravni modeli.

Kod opservacijskih eksperimenata moguće je koristiti tehnike koje aktiviraju učenike u raspravi s nastavnikom. Standardni demonstracijski pokusi u kojima nastavnik izvede pokus pa zatim pruži ispravno objašnjenje su nedostatni. Više istraživanja (npr. Crouch i sur. 2004; Sokoloff i Thornton 1997) pokazalo je da takvo prikazivanje demonstracijskih pokusa nije ništa bolje nego da se pokusi uopće nisu izveli. Umjesto toga se preporuča proces u kojem učenici prije samog pokusa daju predviđanje (uz moguću međusobnu raspravu), zatim se pokus izvede, učenici raspravljaju o vezi predviđanja i onoga što su vidjeli i tek nakon toga nastavnik daje znanstveno ispravno objašnjenje.

Kao dalji korak u raspravi bi se moglo krenuti u izvođenje eksperimenta za testiranje tog modela, što daje učenicima priliku da sami rade na oblikovanju eksperimenta. Ovo bi bilo u skladu s preporukama koje daje Gunstone (1991), koji napominje da je ključno pomoći učenicima da postavljaju pitanja, sugeriraju hipoteze i oblikuju istraživanja, tj. da “praktične aktivnosti uključuju um a ne samo ruke” (eng. “minds-on as well as hands-on”). S druge strane napominje i da je ovaj proces za učenike težak, pošto je izvođenje znanstvenih zaključaka iz praktičnih aktivnosti vrlo kompleksan proces. Kao pomoć u tome mogu se razmotriti tehnike koje učenicima omogućavaju razmišljanje o aktivnostima koje osmišljavaju. Hand, Wallace i Yang (2004) su predstavili rezultate korištenja “*Heuristike za znanstveno pisanje*”, alata koji potiče učenike da pomnije razmisle o svojim istraživačkim pitanjima, dokazima i zaključcima koje koriste u sklopu laboratorijskih aktivnosti. Istraživanje se bavilo grupnim radom učenika, te su uočili da učenici, kao grupa, imaju bolje konceptualno razumijevanje ako su se koristili heuristikama, a ne uobičajenim načinom pisanja laboratorijskih izvještaja. Također, uočeno je da su učenici pokazali napredak u razmišljanju o metodama istraživanja, te svjesnost o kognitivnim i metakognitivnim aktivnostima potrebnih za obavljanje zadataka u laboratoriju.

Eksperiment primjene ili konstrukcija uređaja (kao i općeniti proces vođenog istraživanja) može poslužiti za postavljanje naučenog u širi kontekst. Hofstein i Lunetta (2004) navode da “*postoji osjećaj da najbolje učimo u kontekstualiziranim uvjetima radeći na izvornim i smislenim zadacima* (Brown, Collins, i Duguid, 1989; Polman, 1999; Roth, 1995; Wenger, 1998; Williams i Hmelo, 1998)”. Ovakav način rada se može pretvoriti u učenje kroz rješavanje problema (eng. problem based learning) ili projektno učenje (eng. project based learning). Barron i sur. (1995) daju četiri preporuke za oblikovanje takve nastave:

1. definiranje ciljeva koji su prikladni za učenje i vode dubokom razumijevanju
2. pružanje pomoćnih aktivnosti (eng. scaffolding) koje omogućavaju učenicima dobivanje potrebnih vještina
3. omogućiti prilike za formativnu samo-procjetu i ponavljanje
4. razvijanje socijalnih struktura koje potiču na akciju

Problem na koji nailaze jest što ovakav način rada zahtjeva “istovremene promjene u kurikulumu, podučavanju i načinima ocjenjivanja - promjene koje su često strane i učenicima i nastavnicima” (Barron i sur. 1995, str. 271). Praktične upute i preporuke o tome kako uključiti projektni način rada u vlastitu nastavu opisan je u priručniku “*Rad koji čini razliku: Nastavnički vodič za projektnu nastavu*” (Patton, 2012).

Neke od ovih metoda se mogu koristiti uz male izmjene rada u klasičnoj nastavi, dok druge zahtijevaju sustavnu promjenu na razini školskog sustava. To omogućava svakom nastavniku da uvede neke efikasne oblike eksperimentalnog rada u nastavu, ovisno o tome kakve su mu trenutačne mogućnosti rada.

1.2 Nastava kvantne fizike

1.2.1 Teme istraživanja u nastavi kvantne fizike

Ranije u uvodu sam napomenuo da kvantna fizika ima važnu ulogu kao jedna od osnovnih teorija u cijelom opusu fizikalnog znanja. Kao takva zauzima važno mjesto u nastavi fizike, osobito na svučilišnoj razini, te je zbog toga interesantna i istraživačima u edukaciji fizike.

Do sada su pojmovi iz područja klasične fizike dobivali najviše pozornosti u području istraživanja nastave fizike, no u zadnje vrijeme i pojmovi iz područja kvantne fizike dobivaju sve više pozornosti (Falk, 2007). Primjerice, kod poučavanja klasične mehanike postoji značajan broj istraživanja o tome kako učenici uče te pojmove, ali i koje metode poučavanja koristiti kako bi se povećalo razumijevanje koncepata. Kod kvantne mehanike zasad su detaljnije proučavani samo neki pojmovi, a konsenzusa o tome koje metode poučavanja su najefikasnije nema. Pošto je matematički formalizam značajna komponenta poučavanja kvantne mehanike, postoje nastavnici koji smatraju da je i dalje najbolji pristup “poučavati matematiku korak po korak i onda umetnuti fiziku” (Fletcher 2004). No sve se više zastupa stav da bi se i u nastavi kvantne fizike trebali koristiti interaktivni oblici nastave usmjereni na konceptualno razumijevanje, pogotovo pri uvođenju poučavanja kvantne fizike u srednje škole (npr. Müller i Wiesner, 2002).

Müller (2008) u svojoj doktorskoj disertaciji daje kratak pregled tema kojima se istraživači bave, s konkretnim primjerima: “Istraživanja su se do sada fokusirala na miskoncepcije (Styer 1996), kurikulume u kvantnoj fizici (Wittmann, Steinberg i Redish 2002), studentske koncepcije i razumijevanje (Fletcher 2004, Johnston, Crawford i Fletcher 1998), korištenje eksperimenata u nastavi (Müller i Wiesner, 2002, Zollman, Rebello i Hogg 2002, Lawrence 1996) i pojedinim temama u kvantnoj fizici (Wittmann, Steinberg i Redish 2002, Olsen 2002). Nedavno su razvijeni i testovi nazvani *Inventorij kvantnih koncepata* (Falk, 2004) i *Konceptualni upitnik za kvantnu mehaniku* (McKagan i Wieman 2005). Također, započele su i inicijative za poučavanjem ovih tema ranije u školskom obrazovanju i inovativnih načina za poticanje konceptualnog učenja (Olsen 2002, Zollman, Rebello i Hogg 2002, Müller i Wiesner, 2002)” (str. 77).

Što se detaljnijeg pregleda područja tiče Fletcher (2004) u svojoj doktorskoj disertaciji daje popis objavljenih radova iz podučavanja kvantne kemije i fizike (prilozi 8 i 9), dok Müller (2003) objavljuje pregled internacionalnih istraživanja, s fokusom na brojna istraživanja u Njemačkoj. Falk (2007) daje sustavni pregled empirijskih istraživanja o studentskim opisima kvantne mehanike, te iz istraživanja sažimlje opise studentskih alternativnih opisa kvantno-mehaničkih pojava (autor namjerno koristi izraz opis, eng. depiction, umjesto izraza poput pretkonceptcija/miskonceptcija/alternativna konceptcija kako bi izbjegao postavljanje rezultata u neki od teorijskih okvira o učenju). Osim istraživanja o studentskim opisima prilaže i popis istraživanja o podučavanju kvantne mehanike, te učenju i podučavanju atomskih modela (Falk 2007, prilog 1 i 2) tako da u trenutku pisanja ovog rada to sačinjava najrecentniji i najširi (iako ne potpuno iscrpan) pregled istraživanja u nastavi kvantne mehanike.

Čini se da i u području kvantne fizike istraživanja prate sličan uzorak kao i kod drugih područja, tj. značajan broj istraživanja je koncentriran na istraživanje o učeničkom konceptualnom razumjevanju. Razvijeni su i testovi za procjenu konceptualnog razumjevanja kvantne mehanike, što bi trebalo omogućiti uspoređivanje intervencija u podučavanju. Mnogi istraživači izlažu i kvalitativne rezultate intervencija u predavanjima ili kurikulumu, te razvoj materijala koji pomažu u učenju kvantne fizike.

1.2.2 Trenutačno stanje u nastavi kvantne fizike

Kvantna fizika se uglavnom uči na visokoškolskoj razini, no u mnogim školskim sustavima neki pojmovi kvantne fizike se uče u sklopu nastave fizike i na nižim razinama (u programima ekvivalentnim hrvatskim gimnazijama). Pojmovi vezani uz atome se obično prije obrade u sklopu nastave kemije, pa se tako hrvatski učenici se sa osnovnim pojmovima vezanim uz atome sreću u 7. razredu osnovne škole (Nastavni plan i program za osnovnu školu, 2006).

Falk (2007) u svojem pregledu studentskih/učeničkih opisa kvantnih pojmova dijeli pojmove na četiri razine:

1. **Pred-kvantna razina** - podučavanje se na ovoj razini ne bavi s matematičkim formalizmom tipičnim za kvantnu mehaniku, već konceptima poput valno-čestične prirode tvari, osnovnim svojstvima modela vodikovog atoma, principom neodređenosti i povijesnim uvodom u kvantne koncepte
2. **Uvodna razina** - na ovoj razini se uvodi formalizam kvantne mehanike, te se obrađuju pojmovi poput valne funkcije, Schrödingerove jednačbe, rješavanja vremenski neovisnih potencijala u jednoj dimenziji, tuneliranjem, mjerenjem u kvantnoj mehanici i formalnim opisom vodikovog atoma

3. **Srednja razina** - obrađuju se pojmovi s prethodne razine, ali se koristi još napredniji matematički alati. Pojmovi koji se tipično obrađuju su spin, matrična reprezentacija, Diracova notacija, operatori stvaranja i anihilacije, potencijal harmoničkog oscilatora, energijska svojstvena stanja i sl.
4. **Napredna razina** - obrađuju se pojmovi poput kvantne sprege, vremenski neovisnih Hamiltonijanskih operatora, Einstein-Podolsky-Rosen paradoks, perturbacijski račun i sl.

Ako se u srednjoškolskoj nastavi obrađuju pojmovi kvantne fizike, tipično se prolaze pojmovi na pred-quantnoj razini. Müller i Wiesner (2002) pišu da u njemačkim gimnazijama učenici standardno uče o atomima i kvantima, ali da je fokus kurikuluma na pojmovima poput fotoelektičnog efekta i Bohrovog modela atoma. Olsen (2002) navodi sličnu situaciju u norveškim školama: “učenici se upoznaju s X-zrakama, fotoelektričnim efektom i jednostavnim modelima za ove pojave. Na kraju se uvodi valno-čestična dualnost kroz kratak opis s dvostrukim prorezom za elektrone”. Također navodi da se norveški sustav uglavnom bazira na onome što se radi u Velikoj Britaniji (Nuffield foundation, 1986). U oba rada se izlažu prijedlozi kako uvesti neke ideje sa uvodne razine kvantne mehanike, bez kvantno-mehaničkog formalizma, već na konceptualnoj razini.

U hrvatskom obrazovnom sustavu pojmovi kvantne fizike obrađuju se na nastavi fizike u srednjoj školi. Jedino u strukovnim školama s jednogodišnjim programom fizike (Okvirni nastavni program fizike za srednje strukovne škole) nije predviđeno učenje pojmova kvantne fizike. Svi ostali programi podrazumijevaju barem neke sadržaje, a pojmovi najdetaljnije uče po gimnazijskom četverogodišnjem A programu (Nastavni programi za gimnazije, 1994), koji se obično izvodi u prirodoslovno-matematičkim gimnazijama. Program za prirodoslovne gimnazije je specifičan (Nastavni plan za prirodoslovne gimnazije). On osim obične nastave točno propisuje i nastavne jedinice koje se trebaju izvesti u obliku laboratorijskih vježbi (od toga su tri vezane uz modernu fiziku).

Sadržaji iz kvante fizike se po programima obično nadovezuju na gradivo iz optike, pa program kreće od fotoelektičnog efekta, nastavlja na valno-čestičnu prirodu tvari, kvantizaciju energije u atomima, te se na kraju prolazi povijesni razvoj modela atoma sve do kvantno-mehaničkog modela atoma. Uz kvantnu fiziku predviđeni su i drugi sadržaji koji se na nju nadovezuju poput osnovnih pojmova iz nuklearne fizike, fizike elementarnih čestica te fizike čvrstog stanja. Pregled sadržaja srednjoškolskih udžbenika po pitanju moderne fizike daju Mandić i sur. (2003), gdje se u pet postojećih udžbenika sadržaji kategoriziraju po pojmovima. Udžbenici pokrivaju vrlo širok spektar pojmova iz moderne fizike, a autori

naznačuju da daju jednostavane opise bez dubljeg ulaženja u kvantne pojave. Sadržaji iz kvantne fizike se provjeravaju i na državnoj maturi (Ispitni katalog za državnu maturu, 2009).

Na ostale razine podučavanja kvantne fizike (od uvodne do napredne razine) se nailazi u visokoškolskom obrazovanju i to obično na studiju fizike ili kemije, iako se uvodni pojmovi ponekad prolaze i na tehničkim studijima. Sistematični opisi trenutačne nastave na studijima fizike su rijetki, makar se većina istraživanja bavi sveučilišnom nastavom. Muller (2005) je radio takvo istraživanje na sveučilištu u Sydneyu, gdje je tijekom jedne akademske godine vršio promatranja devet različitih kolegija iz kvantne mehanike. Na sveučilištu u Sydneyu kvantna mehanika se počinje učiti na 1. godini studija, s time da su studenti razdvojeni u tokove po različitim razinama predznanja i usmjerenjima studija. Taj pristup s različitim tokovima se zadržava sve do 3. godine studija, a na 4. godini se izvode kolegiji *napredna kvantna mehanika* i *relativistička kvantna mehanika*. Sva promatranja s kolegija su kodirana po određenim kategorijama vezanim uz način korištenja vremena unutar predavanja. Uočeno je da trenutačno svi kolegiji funkcioniraju po modelu klasičnih predavanja, ali da se na svim kolegijima osim relativističke kvantne mehanike ekstenzivno koriste razna vizualna pomagala (prezentacije, dijagrami, simulacije itd.), a izvođeni su i neki demonstracijski pokusi. Jedino se u relativističkoj kvantnoj mehanici predavač cijelo vrijeme bavio matematičkim izvodima na ploči. Na svim predavanjima je uočena mala količina interakcije između studenata i predavača.

U Hrvatskoj ovakvih analiza trenutačne nastave nemamo, no već i usporedbom programa se mogu uočiti značajne razlike. Kvantna mehanika se na hrvatskim studijima fizike obično počinje učiti na 3. godini preddiplomskog studija, dok su napredne teme na kasnijim godinama.

2. Korištenje eksperimenata u nastavi kvantne fizike

2.1 Odabir eksperimenata

Cilj ovog rada je razviti nove nastavne materijale koji bi omogućili lakše uklapanje eksperimenata u nastavi kvantne fizike na srednjoškolskoj i preddiplomskoj razini podučavanja fizike. Iz tog razloga odlučio sam se ograničiti na pojave koje se obrađuju po nastavnim programima za srednje škole, s fokusom na eksperimente koji se mogu izvesti s malim materijalnim zahtjevima i koji se vremenski mogu uklopiti u školsku satnicu. Ovi kriteriji su odabrani kako bi postojala što veća mogućnost da se obrađeni eksperimenti počnu koristiti u nastavi.

Na bazi ovih osnovnih kriterija napravio sam inicijalnu pretragu u Google Scholar i ERIC bazama podataka i specijaliziranoj bazi ComPADRE, te općenitu WWW pretragu za općenite ključne pojmove poput “quantum physics school experiments”, “quantum physics demonstration experiments”, “quantum physics education research” i sl. što je rezultiralo skupljanjem inicijalnih radova. Nakon što sam identificirao članke koji daju pregled područja (Muller 2008, Falk 2007, Fletcher 2004, Zollman 1999) u njihovim referencama sam našao niz članaka koji navode korištenje eksperimenata u nastavi, te sam na bazi toga radio dodatne pretrage za specifične pokuse. Osim znanstvenih članaka naišao sam i na niz WWW resursa koji opisuju eksperimente iz kvantne fizike. Iz pronađenih istraživanja mogu se vidjeti opće tendencije u području, ali ne radi se o sustavnom pregledu područja.

S obzirom na prije navedene kriterije kao najpraktičniji su se pokazali:

- za fotoelektrični efekt: fizički eksperimentalni postav s LED diodama i eksperimentalni postav upravljan na daljinu
- za valno-čestičnu prirodu svjetlosti: simulator laboratorija za kvantnu optiku
- za kvantizaciju energije u atomima: analiza spektara svjetlosti iz plinskih žarulja

U nastavku su sažeta istraživanja o korištenju eksperimenata u nastavi i pronađene nastavni resursi u nekoliko kategorija koje se vežu uz fenomene u kvantnoj fizici.

2.1.1 Fotoelektrični efekt

Fotoelektrični efekt se koristi kao uvodna pojava za podučavanje kvantne fizike, jer se u nastavnim programima prirodno nadovezuje na gradivo optike, te je od velikog povijesnog značenja. Preko fotoelektričnog efekta se uvodi koncept čestične prirode svjetlosti, što je osnova za daljnje proučavanje valno-čestične prirode svjetlosti i materije.

Powell (1978) daje opis klasičnog postava eksperimenta, te njegovog korištenja u nastavi, no ovaj članak je više usmjeren na fotoemisijski proces nego na obrazovnu primjenu. Steinberg, Oberem i McDermott (1996) opisuju razvoj računalnog tutorijala o fotoelektričnom efektu, opisuju studentske koncepte o valno-čestičnoj prirodi svjetlosti i fotoelektričnom efektu, te izvode studiju efikasnosti podučavanja pomoću razvijenog tutorijala. Lawrence (1996) opisuje inovativnu nastavu u britanskoj srednjoj školi. Više pojava se proučava pomoću LED dioda, od kvantizacije energije, preko fotoelektričnog efekta do tuneliranja. Sve pojave se obrađuju na konceptualnoj razini, a rad s LED diodama omogućava i razmatranje pojava iz fizike čvrstog stanja. Zollman, Robello i Hogg (2002) predstavljaju svoje nastavne materijale koji objedinjuju korištenje eksperimentalnih metoda i vizualnih pomagala, program se zove *Vizualna kvantna mehanika*. Između ostalog, u dijelu gdje prolaze povijesne eksperimente, bave se i fotoelektričnim efektom, gdje se koristi klasični eksperimentalni postav.

Kod većine ovih radova se podrazumijeva da škola raspolaže s eksperimentalnim postavom za fotoelektrični efekt, što obuhvaća fotoćeliju (ili vakuumsku fotocijev), promjenjivi izvor napona, multimetar i monokromatske izvore svjetlosti (obično se koristi živina lampa u kombinaciji sa specijaliziranim filtrima). Uobičajen pristup bi bio nabavka komercijalnog postava, no to može predstavljati problem zbog cijene. Alternativa ovome je korištenje postava na daljinu. Pronašao sam dva različita primjera udaljenih laboratorija sa fotoelektričnim efektom: RCL u Njemačkoj (2004) i ISES u Češkoj (2005). No izvedba preko LED dioda se čini puno prihvatljivija za korištenje u školi, pošto se može izvesti pomoću priručne ili jeftine opreme. Postoji više opisa korištenja LED dioda za jeftiniju izvedbu postava za fotoelektrični efekt, npr. jednu praktičnu izvedbu detaljno opisuje Garver (2006). Također moguće je i korištenje interaktivnih simulacija, dobar primjer je PhET simulacija fotoelektričnog efekta čije je korištenje istraživano u sklopu novog kurikulumu (McKagan, 2009).

2.1.2 Valno-čestična priroda svjetlosti i materije

Fotoelektrični efekt upućuje na valno-čestičnu prirodu svjetlosti, tj. na to da svjetlost kao kvantna pojava pokazuje svojstva koja se mogu pripisati i valovima i česticama, što u klasičnom elektro-magnetskom modelu svjetlosti nije moguće. Kasnije se ove ideje nadograđuju prema de Broglievoj ideji valova materije, tj. valno-čestičnoj slici materije. No iako je fotoelektrični efekt povijesno doveo do razvoja koncepta fotona, kasnije se ispostavilo da je taj efekt moguće objasniti pomoću klasičnih elektro-magnetskih valova koji interagiraju s kvantnim modelima atoma, pa su tek moderniji eksperimenti u kvantnoj optici definitivno dokazali postojanje fotona.

Müller i Wiesner (2002) predstavljaju novi program za srednje škole gdje pokušavaju izbjeći povijesni pregled istraživanja kao osnovnu temu za podučavanje kvantne fizike. Značajan dio predmeta bazira se na pojmovima vezanim uz valno-čestičnu prirodu svjetlosti koja se kasnije primjenjuje na elektronima kako bi se pokazala i valno-čestična priroda materije. Atomski modeli obrađuju se na kraju i to u naprednoj inačici. Djelomično se uvodi i formalizam kvantne mehanike, no većina vremena se koristi za konceptualnu analizu simulacija Mach–Zehnder interferometra (za pokazivanje svojstva svjetlosti) i interferencije elektrona na dvostrukom prorezu. Weis i Wynands (2003) predstavljaju postav u kojem se jako atenuirana svjetlost lasera koristi za dočaravanje valno-čestične prirode svjetlosti pomoću fotomultiplikatora spojenog na zvučnik i stvaranja difrakcijske slike pomoću integriranja dulje ekspozicije slike na CCD senzoru. Dimitrova i Weis (2008) opisuju demonstracijski pokus kojim se dolazi do sličnih rezultata, ali uz korištenje atenuirane svjetlosti lasera i Mach–Zehnder interferometra. Thorn i sur. (2004) i Galvez i sur. (2005) opisuju moderni eksperiment iz kvantne optike gdje se pojava spontanog pretvaranja fotona (eng. spontaneously down converted light) koristi za dokazivanje postojanja fotona dovedenih na razdvajač zrake svjetlosti (eng. beam splitter) i detektora na bazi lavinskih foto-dioda.

Osnovni problem ovih eksperimenata je njihova skupoća. Izvođenje ovih eksperimenata zahtjeva namješten laboratorij iz kvantne optike što je daleko van cjenovnog ranga srednjih škola, ali i studija fizike u Hrvatskoj. Pronašao sam opis za izradu pokusa u kojem se svjetlost lasera atenuira pomoću vreća za smeće, dovodi na dvostruki prorez i onda pomoću digitalnog fotoaparata snima na vrlo dugoj ekspoziciji (Kelsey, 2009), no nisam uspio samostalno izvesti taj pokus, a i ukupno vrijeme ekspozicije koje je idejno potrebno da bi se dobila interferencijska slika je dulje od vremena s kojim nastavnici raspolažu u školi. No u nedostatku fizičke izvedbe pokusa mogu se koristiti simulacije. Meyn i Bronner (2009) su izradili simulaciju laboratorija za kvantnu optiku u kojem korisnik ima dojam da rukuje stvarnom opremom (koriste se fotografije pravog laboratorija) te se mogu analizirati podatci dobiveni u fizičkom eksperimentu. Simulacija se može koristiti za pokazivanje postojanja fotona, ali i naprednih tema poput kvantne kriptografije.

2.1.3 Kvantizacija energije u atomu i atomski modeli

Koncepti koji se obrađuju u programu nastavljaju se po povijesnom redosljedu. Proučava se kvantizacija energije na bazi energetske nivoa u atomu, što se dalje nastavlja u povijesni pregled razvoja modela atoma od Thomsonova “puding s groždicama” modela sve do Schrödingerova probabilističkog modela atoma.

U kontrastu s povijesnim pristupom stoji istraživanje u kojem su Fischer i Lichtfeld (1992) predstavili novi kurikulum za njemačke srednje škole u kojem se izbjegava korištenje Bohrova modela atoma i koncentrira se na probabilističke modele moderne kvantne mehanike. Na bazi tog istraživanja sugerirali su da se pri poučavanju kvantne fizike izbjegava Bohrov model pošto će učenici imati problema s učenjem Schrödingerova modela. Ovaj rad je imao značajan utjecaj u istraživačkoj zajednici te su kasnije razvijeni novi programi koji izbjegavaju korištenje Bohrova modela atoma. Ranije spominjani program Müllera i Wiesnera (2002) potpuno izbjegavaju podučavanje modela atoma, osim u naprednoj inačici gdje se podučavaju osnovni elementi kvantne mehanike i Schrödingerov model. Zollman, Robello i Hogg (2002) u programu “Vizualna kvantna mehanika” također izbjegavaju korištenje Bohrova modela atoma, ali zato proučavaju kvantizaciju energije pomoću eksperimenata i simulacija LED dioda, spektara plinskih žarulja i sl. Novije istraživanje razvoja studentskih koncepata o modelima atoma (Mckagan, Perkins i Wieman, 2008) pokazuje da učenje Bohrova modela ne sprječava studente da steknu ispravne kvantno mehaničke koncepte. Također pokazuju kako su razvili novu simulaciju koja studentima olakšava učenje koncepata o raznim modelima atoma.

Brown (2005) opisuje korištenje jednostavnog postava za spektroskopiju, gdje se uz pomoć jeftine holografske optičke rešetke, dva lasera (crveni i zeleni) za kalibraciju i video kamere promatraju razni izvori svjetlosti i zatim analiziraju pomoću programa Tracker kako bi se dobila frekvencijska raspodijela iz snimke spektra. Još jednostavniji postavi koji koriste CD ili DVD medije kao optičke rešetke mogu se koristiti za promatranje spektara. Institut za fiziku u svojim edukativnim materijalima iz spektroskopije (Milošević i sur., 2005) daje opis konstrukcije takvog eksperimenta koji sam koristio za izvedbu kratke radionice za djecu osnovnoškolskog uzrasta (Novosel, 2007). Noviji praktičan prijedlog za izradu spektrofotometra koristeći DVD medij, karton i digitalni fotoaparatus predlažu Widiatmoko i sur. (2011), a Kraftmakher (2012) predlaže modifikaciju koristeći video kameru i osciloskop, što čini taj postav praktičnim za demonstracije. Mandić i sur. (2003) predstavljaju niz eksperimenata koji se koriste u laboratoriju studija fizike u Rijeci, uključujući i izvedbu Franck–Hertz eksperimenta koji je u povijesnom smislu prvi korišten za eksperimentalnu potvrdu Bohrova modela atoma.

Od svega navedenog materijali za pokuse sa spektroskopijom se najlakše mogu koristiti u školi, kao demonstracijski pokus, ali i za kvantitativne eksperimente. Problem s tim postavom je nabavljanje interesantnih izvora svjetlosti. Neki se mogu jednostavno nabaviti (npr. kompaktne fluorescentne žarulje za promatranje dijela spektra žive) dok se drugi mogu nabaviti samo od specijaliziranih dobavljača za didaktičku opremu i koštaju značajno više

(npr. vodikova plinska žarulja). Postavi koji se koriste na sveučilištu u Rijeci su od komercijalnih dobavljača, pa zbog toga nisu praktično rješenje za većinu hrvatskih škola. Razne pojave se mogu se istraživati pomoću simulacija - ranije spomenute PhET simulacije postoje za modele atoma i model plinskih žarulja.

2.2 Ispitivanje trenutačnog stanja u školama

Trenutačno ne postoje detaljnije informacije o korištenju eksperimenata u nastavi kvantne fizike u Hrvatskoj, tj. nisam pronašao rezultate empirijskih istraživanja o korištenju eksperimenata u nastavi fizike. Krsnik (2008) navodi da je uvođenje eksperimenata u nastavu fizike hrvatskih škola službeno pokrenuto 1949. godine kada je komisija Društva matematičara i fizičara Hrvatske preporučila da se u nastavu uključi izvedba eksperimenata i rješavanje numeričkih zadataka. U udžbeniku autor navodi da je uvođenje eksperimenata teklo sporije od uvođenja numeričkih zadataka, no podatci su na anegdotalnoj razini, a pretraživanjem literature nisam naišao na istraživanje koje bi se detaljno bavilo statusom eksperimenata u nastavi u Hrvatskoj.

Zastupljenost eksperimentalnog rada možemo naslutiti iz evaluacije nastavnih programa osnovnih škola, gdje su predmetni nastavnici i učenici osmog razreda dali svoju procjenu učestalosti pojedinih oblika nastave. Nastavnici fizike su od 15 ponuđenih aktivnosti *izvođenje eksperimenata* naveli kao petu najčešću aktivnost koju izvode s učenicima (Baranović 2006, str. 121). Kad se gledaju svi predmeti zajedno izvođenje eksperimenata je druga najrjeđa aktivnost, a usporedbi s procjenom ostalih predmetnih nastavnika, u nastavi fizike eksperimenti se izvode najčešće. Kod procjene učenika (Baranović 2006, str. 202) izvođenje eksperimenata nije bila jedna od kategorija koja je bila ispitivana, te su podaci predstavljeni skupno za sve predmete. Prema općim podacima najzastupljenije aktivnosti su *grupna rasprava s drugim učenicima* (43% često, 18,9% uvijek) i *slušanje i zapisivanje toga što nastavnik govori* (30,9% često, 25,3% uvijek). Aktivnosti koje su bliske eksperimentiranju su procjenjene kao najrjeđe: *pisanje komentara, izvještaja i zapažanja* (62,3% nikad, 29% rijetko) i *sudjelovanje u terenskom radu* (43,8% nikada, 36,1% rijetko).

S obzirom na to da su nastavnici primarno ti koji odlučuju hoće li koristiti ovakve nastavne metode potrebno je ispitati njihove stavove. Kako bih ispitao nastavničke stavove izradio sam web upitnik kojim se pokušava saznati kakvi su stavovi nastavnika vezanih uz korištenje eksperimenata u nastavi fizike općenito, stavovi o eksperimentima unutar gradiva kvantne fizike, te mišljenja i prijedloge vezano uz konkretne primjere eksperimenata za koje sam ranije zaključio da su praktični za izvođenje u hrvatskim školama. Upitnik je detaljnije opisan u prilogu.

U dijelu upitnika koji se tiče izvođenja eksperimenata u nastavi fizike općenito su postavljena pitanja vezana uz:

- način izvođenja - kako bi se vidjelo koje oblike eksperimenata koriste (demonstracijski pokus, učenici samostalno izvode aktivnosti, učenici rade u grupama), te da li ih uopće koriste.
- koliko često se eksperimenti izvode - procjena toga koliko često izvode eksperimente
- općeniti stav uz korištenje eksperimenata - otvoreno pitanje gdje nastavnik može dati svoje mišljenje o korištenju eksperimenata.
- nailaze li na poteškoće – postoje li zapreke za izvođenje eksperimenata (nedostatak opreme, nedostatak vremena za izvođenje i/ili pripremu, teško ih je uklopiti u nastavu, učenicima su teški).

U upitniku je naglašeno da izvođenje simulacija u ovom istraživanju ne spada pod izvođenje eksperimenata, makar su simulacije slične eksperimentalnom radu jer omogućavaju promatranje pojava i kontrolu parametara. Naglasak je na fizičkom izvođenju eksperimenata kako bi se vidjelo koliko ih nastavnici koriste i zato što pretpostavljam da za njih postoji veća mogućnost objektivnih zapreka u korištenju.

U dijelu upitnika koji se tiče nastave kvantne fizike ponovno se postavlja pitanje o načinu izvođenja eksperimenata, no sljedeća pitanja su više usmjerena na eksperimente iz kvantne fizike. Nastavnike se pita koje eksperimente iz kvantne fizike koriste, ako ih ne koriste zašto ne, te koji je njihov stav o korištenju eksperimenata u nastavi kvantne fizike. Navedena su dva konkretna primjera: (1) korištenje spektroskopa kao primjer fizičkog eksperimenta koji se može izvoditi u razredu i (2) korištenje udaljenog eksperimentalnog postava za fotoelektrični efekt. Ovi eksperimenti su u upitniku predstavljeni kratkom video prezentacijom, a ovi primjeri su odabrani kako bi se vidjelo postoji li razlika u mišljenju nastavnika o eksperimentima izvođenim uživo u razredu i onih koji se izvode na daljinu. O tim eksperimentima nastavnike se pita kako bi ih koristili i što bi im za to bilo potrebno.

3. Rezultati

Anketno istraživanje je provedeno na prigodnom uzorku, tj. nastavnici¹ su bili pozivani metodom “snježne grude” - prvo su kontaktirani nastavnici koje poznajem, te su oni dalje prosljeđivali upitnik svojim kolegama. Nažalost odaziv na upitnik je bio vrlo malen, te se odazvalo svega deset nastavnika od osamdesetak do kojih je upitnik došao. Moguće je da se nastavnici nisu odazvali u većem broju zbog promoviranja ankete putem e-pošte. Takav oblik informiranja se može shvatiti kao neželjena e-pošta, a za razliku od anketiranja uživo ne postoji jednostavna mogućnost poticanja na sudjelovanje u istraživanju.

Upitnik su ispunili srednjoškolski nastavnici iz različitih krajeva Hrvatske, te iako je većina odgovora pristigla iz škola na području grada Zagreba zastupljene su škole i iz drugih krajeva (raspodjela je prikazana u Tablici 1).

Tablica 1: Raspodjela odgovora nastavnika po županijama, bazirano na odgovorima na pitanje “U kojem mjestu se nalazi obrazovna ustanova?”

Županija	Broj nastavnika
Grad Zagreb	4
Zagrebačka županija	2
Međimurska županija	1
Varaždinska županija	1
Splitsko-dalmatinska županija	1
Šibensko-kninska županija	1

Također provjeravao sam u kakvoj školi nastavnici rade, tj. po kojem obrazovnom programu, te koliko dugo predaju fiziku. Troje nastavnika predaje u prirodoslovno-matematičkoj gimnaziji, troje u općoj gimnaziji, a četvero nastavnika predaje u strukovnoj školi sa trogodišnjim ili četverogodišnjim programom fizike. Što se radnog iskustva tiče odgovore sam rasporedio u kategorije, a u tablici 2 je prikazana raspodjela odgovora. Većina nastavnika koji su ispunili upitnik ima više od 10 godina radnog iskustva.

Tablica 2: Raspodijela godina iskustva u podučavanju fizike, bazirano na odgovorima na pitanje “Koliko dugo predajete fiziku?”

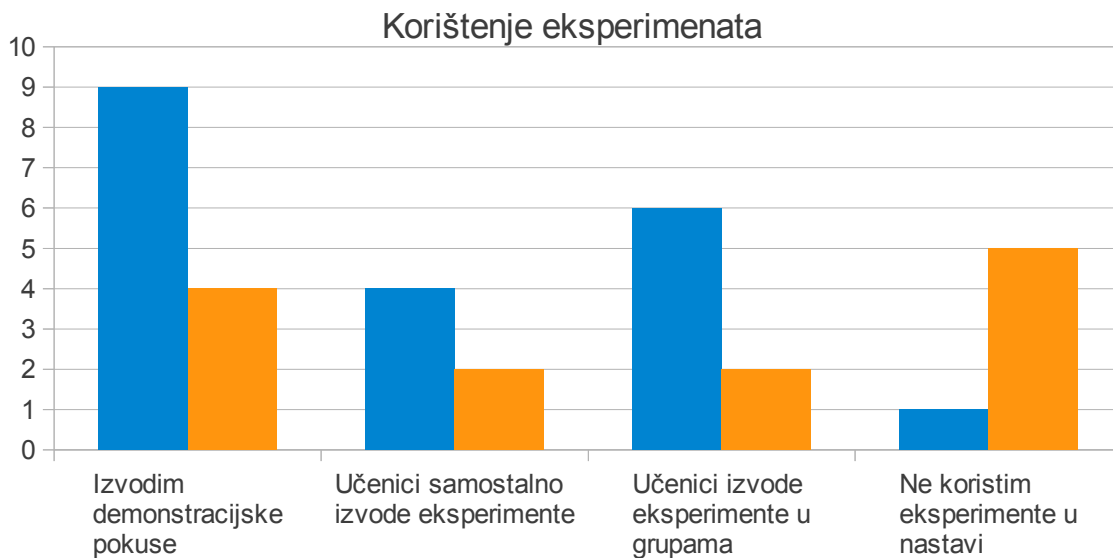
Godine predavanja fizike	Broj nastavnika
do 5 godina	2
5-10 godina	1
10-20 godina	3
20+ godina	4

¹ U daljnjem tekstu izraz nastavnik se odnosi i na muški i na ženski rod, no uniformno se koristi isti naziv kako se ne bi prikazivale razlike u pojedinim odgovorima. Nije provjeravano kojeg spola su ispitanici.

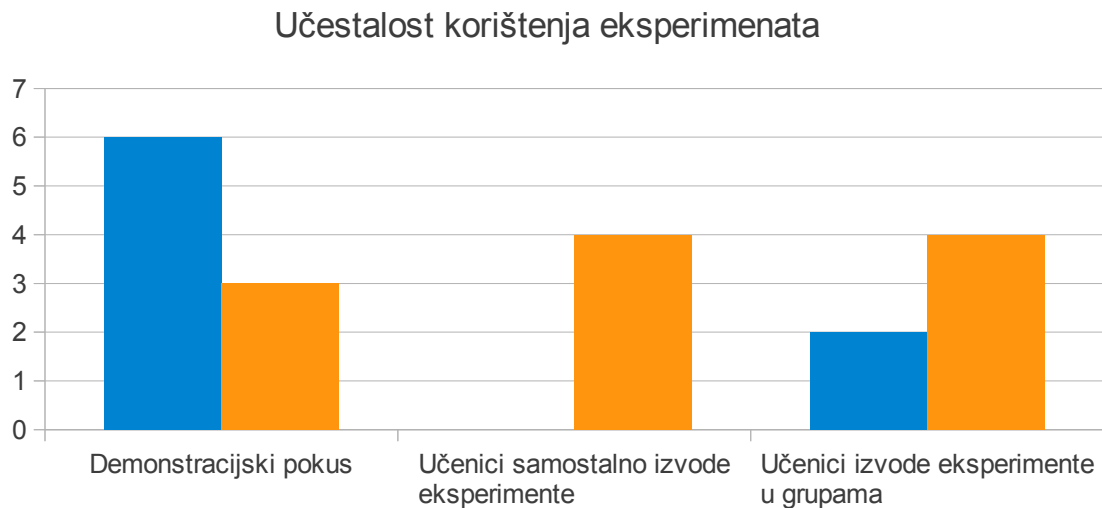
S obzirom da je broj ispitanika malen nije moguće validno provesti statističku analizu podataka ni donositi snažne zaključke. No po do sad izloženim općim informacijama o nastavnicima vidljivo je da su i u ovako malenom uzorku obuhvaćeni nastavnici s dovoljno različitim uvjetima rada i iskustvom u nastavi, te ću zato u nastavku izložiti sažeti prikaz njihovih odgovora vezanih uz iskustva i stavove u korištenju eksperimenata u nastavi fizike općenito, te specifično nastavi kvantne fizike.

3.1 Stavovi i iskustva nastavnika

Prva stvar koja se provjeravala istraživanjem je u kojoj mjeri i kako nastavnici koriste eksperimente u nastavi fizike (općenito u cijelom programu). Samo jedan nastavnik u upitniku odgovorio je da uopće ne izvodi eksperimente, dok svi ostali izvode barem demonstracijske pokuse. Također značajan broj nastavnika omogućava učenicima da izvode eksperimente u grupama ili samostalno. Učestalost aktivnosti koje se može okarakterizirati kao eksperiment prikazana je na slici 2. Slično pitanje bilo je postavljeno i za dio programa fizike koji se odnosi samo na kvantnu fiziku (također prikazano u slici 2). Iz odgovora se može vidjeti da manji broj nastavnika izvodi eksperimente koji se odnose na kvantnu fiziku, s tim da je dvoje nastavnika koji su rekli da trenutno ne izvode eksperimente u nastavi kvantne fizike najavilo da će to u skoroj budućnosti ipak raditi.



Slika 2: Kako nastavnici koriste eksperiment u nastavi fizike općenito, te u nastavi kvantne fizike. Plavom bojom označeni su odgovori na pitanje “Kako koristite eksperimente u vašem radu?” (u ukupnom programu fizike), a narančastom bojom označeni su odgovori na pitanje “Koristite li eksperimente pri obradi gradiva iz područja kvantne fizike?”. Iz raspodjele odgovora vidljivo je da nastavnici manje izvode eksperimente u nastavi kvantne fizike ako to usporedimo sa ostatkom gradiva fizike.



Slika 3: Učestalost korištenja eksperimenata kategorizirana po tipu aktivnosti, te po tome da li se ta aktivnost izvodi povremeno ili redovito. Povremeno izvođenje označeno je plavom bojom, a redovito narančastom. Bazirano na opisnim odgovorima na pitanje “Koliko često koristite eksperimente u vašem radu?”

Što se učestalosti korištenja tiče nastavnici su u upitniku mogli opisno obrazložiti koliko često koriste eksperimente, također tražio sam ih, da ukoliko mogu, procjene koliko puta godišnje. Odgovori su kodirani po tipu aktivnosti (demonstracija, samostalno ili grupno izvođenje eksperimenta) te su razvrstani u dvije skupine, *redovito* ili *povremeno*, a učestalost izvođenja po aktivnostima sažeta je na slici 3. Većina nastavnika (njih šestoro) demonstracijske pokuse izvode povremeno, što je karakterizirano odgovorima poput:

Nastavnik #3: “Par puta po polugodištu za 1.,2. i 3. razrede, 4. razred ništa.”

Ukoliko su nastavnici odgovarali da ih koriste učestalo ili npr. prilikom svake nastavne jedinice u kojoj se obrađuje novo gradivo odgovor je karakteriziran kao redovito izvođenje. Npr.

Nastavnik #9: “...ako je nastava u učionici fizike, tj. u blizini kabineta fizike nastojim s učenicima izvesti makar jedan pokus na satu”

Troje nastavnika se izjasnilo da demonstracijske pokuse izvodi redovito. Što se tiče eksperimenata koje učenici izvode samostalno ili u grupama odgovori su okarakterizirani prema tome postoji li odvojen termin za laboratorijske vježbe koji se odvija na redovitoj bazi. Npr. sljedeći citat opisuje redovito izvođenje eksperimenata na laboratorijskim vježbama:

Nastavnik #4: “Prema programu učenici imaju ili 1,5 sati teorije tjedno i 0,5 sati vježbi ili 2 sata teorije i 1 sat vježbi. Za vježbe razred se dijeli na 2 ili 3 grupe od 10-tak učenika. Učenici vrše mjerenja samostalno ili u grupama. Uglavnom se

radi tako da sve grupe rade jednu vježbu tako da se može raspravljati o dobivenim rezultatima, a usput mjerenja povezati s novim gradivom. Učenici obrađuju podatke i analiziraju ih, te donositi zaključke. Dobiveni rezultati primjenjuju se i prilikom obrađivanja teorije. Svaki učenik godišnje ima 9 puta vježbe po 2 sata ili 12 puta po 3 sata.”

Ako je iz odgovora jasno da u nastavi nije predviđen stalni termin za vježbe takvi odgovori su okarakterizirani kao povremeno izvođenje. Većina nastavnika koji omogućavaju učenicima da izvode eksperimente to čine redovito, a ti nastavnici većinom predaju u strukovnim školama ili prirodoslovno-matematičkoj gimnaziji.

U upitniku su nastavnici bili zamoljeni i da procjene koliko puta godišnje izvode eksperimente. To je učinio dio nastavnika, te se iznos kretao oko 150 puta, s time da se ne radi uvijek o različitim pokusima već i o izvođenju istog pokusa u različitim razredima u kojima nastavnik predaje.

Jedno od ključnih pitanja vezano uz općenito izvođenje eksperimenata je i nastavnikov stav o eksperimentima. Nastavnici su opisno odgovorili o svojim stavovima, a potaknuti su potpitanjima *“Zašto ih koristite (ili ne)? Za što su korisni ili nepraktični? Pomaže li vam na ikoji način korištenje eksperimenata? Kako mislite da učenici reagiraju na njih?”*. Stavove u odgovorima sam kategorizirao prema tipu utjecaja na učenike ili nastavu:

- kognitivni razlozi - eksperimenti utječu na način koji učenici razmišljaju o fizikalnim pojavama ili način na koji učenici uče.
- afektivni razlozi - eksperimenti utječu na stavove učenika o fizici i gradivu koje trebaju učiti
- razvoj vještina - eksperimenti utječu na razvoj vještina koji nisu direktno vezani za fizikalne pojave, ali su sastavni dio istraživanja ili učenja (npr. mjerenje i analiza podataka)
- utjecaj na nastavu - konkretni komentari vezani uz način na koji korištenje eksperimenata mijenja nastavu ili opaske o tome kako bi se trebali koristiti u nastavi

Jedini nastavnik koji je rekao da uopće ne koristi eksperimente u nastavi ima specifičan stav u odnosu na ostale nastavnike u istraživanju. Naime zbog trenutačnih uvjeta rada u svojoj školi smatra da izvođenje eksperimenata nema smisla pošto učenici imaju problema s osnovnim pojmovima u gradivu:

Nastavnik #2: “Za učenike koji ne znaju koliko metar ima centimetara pokusi su beskorisni ... Učenici bi eksperimente promatrali na razini cirkuske predstave i od toga ne bi bilo obrazovne koristi.”

No iz drugog dijela komentara se može zaključiti da bi izvodio eksperimente kada bi radio s učenicima koji znaju više. Ostali nastavnici imaju pretežno pozitivne stavove, s time da su dva vrlo iskusna nastavnika (25+ godina u nastavi fizike) koji rade u strukovnim školama ponudili razrađeniji pogled na korištenje eksperimenata i argumentirali da nije posve jednostavno ostvariti pozitivne efekte koje bi trebali dobiti korištenjem eksperimenata u nastavi fizike. Za učenike je zahtjevno da samostalno izvode zaključke i povezuju teoriju s praksom (nastavnik #4: “... *Još teže je kada trebaju analizirati dobivene rezultate i izvesti zaključke ili povezati s nekim gradivom.*”), a također postoji opasnost od krivog tumačenja eksperimenata, te se često koriste iz krivih motiva (nastavnik #9: “*smatram da se pokusi u nastavi jako često koriste naopako i iz krivih (naopakih) motiva ... apsolutno sam protiv izvođenja pokusa kojeg se krivo tumači - nije rijedak takav slučaj*”).

Od **kognitivnih** razloga za korištenje eksperimenata nastavnici su navodili da eksperimenti pomažu učenicima u povezivanju teorijskih znanja sa praksom, olakšavaju zaključivanje, da omogućavaju zornije predočavanje fizikalnih koncepata, pomažu učenicima da brže i lakše uče fiziku i bolje pamte. Od **afektivnih** razloga nastavnici su navodili da izvođenje eksperimenata pozitivno utječe na učenike, da ih vole raditi i da su im zanimljivi, da motiviraju učenike, potiču na rad, no i da se učenici zbog eksperimenata mogu osjećati dobro, ali da to ne znači nužno i da su naučili više. Jedan nastavnik je naveo i da utječu na **razvoj vještina**, tj. vještine mjerenja i analiziranja podataka (ali i da je ovo učenicima teško). Što se **utjecaja na nastavu** tiče troje nastavnika je navelo da su demonstracijski pokusi dobri za uvod u nastavu, te za poticanje rasprave i kao primjer da se informacije iz udžbenika mogu vidjeti (nisu izmišljene), dok su drugi naveli da bi se trebali izvesti besprijekorno, sa što jednostavnijom opremom i uz obaveznu raspravu koja potiče učenike na razmišljanje. Samo jedan nastavnik je naveo da mu je izvođenje eksperimenata osobno zabavno, a troje nastavnika je navelo da je izvođenje ponekad nepraktično.

Tablica 3: Odgovori nastavnika na pitanje “Nailazite li na prepreke pri korištenju eksperimenata?”

Potencijalne prepreke	Broj nastavnika
Nedostaje mi adekvatna oprema	5
Priprema oduzima mnogo vremena	4
Eksperimenti predugo traju	2
Teško je uklopiti pojedine eksperimente u nastavne cjeline	0
Učenicima su takve aktivnosti teške	0

Uz stavove o izvođenju se veže i pitanje o preprekama u korištenju eksperimenata u nastavi, tj. imaju li nastavnici u svojem radu problema s izvođenjem eksperimenata. Čini se da je

najveća prepreka nedostajanje adekvatne opreme, te duljina vremena koje se troši na pripremu eksperimenata. U tablici 3 je dan pregled na sve prepreke na koje nastavnici nailaze.

Na početku poglavlja je uspoređena učestalost izvođenja eksperimenata u nastavi fizike općenito i nastavi kvantne fizike. Uz ovo pitanje nastavnici koji izvode eksperimente su naveli i točno koje eksperimente izvode. Najučestaliji eksperiment koji se izvodi iz područja kvantne fizike je vezan uz fotoelektrični efekt - četvero nastavnika je navelo da kao demonstracijski pokus pokazuju osvjetljavanje metalne ploče (priključenom na elektroskop) pomoću UV svjetlosti. Troje nastavnika koristi i promatranje različitih spektara, neki kao demonstracijski pokus, a neki na vježbama gdje se mjere frekvencije pojedinih linija. Jednako često se promatra i ogib elektrona na grafitu. Osim ovih pokusa i eksperimenata po jedan nastavnik je naveo korištenje Geiger-Müller brojača, te promatranje spektra zračenja crnog tijela. Nastavnici koji ne izvode eksperimente su navodili zašto - najučestaliji razlog je bio nedostatak opreme (3 nastavnika), a jedan nastavnik je kao razlog naveo premalenu zastupljenost u programu, odnosno nedostatak vremena u satnici.

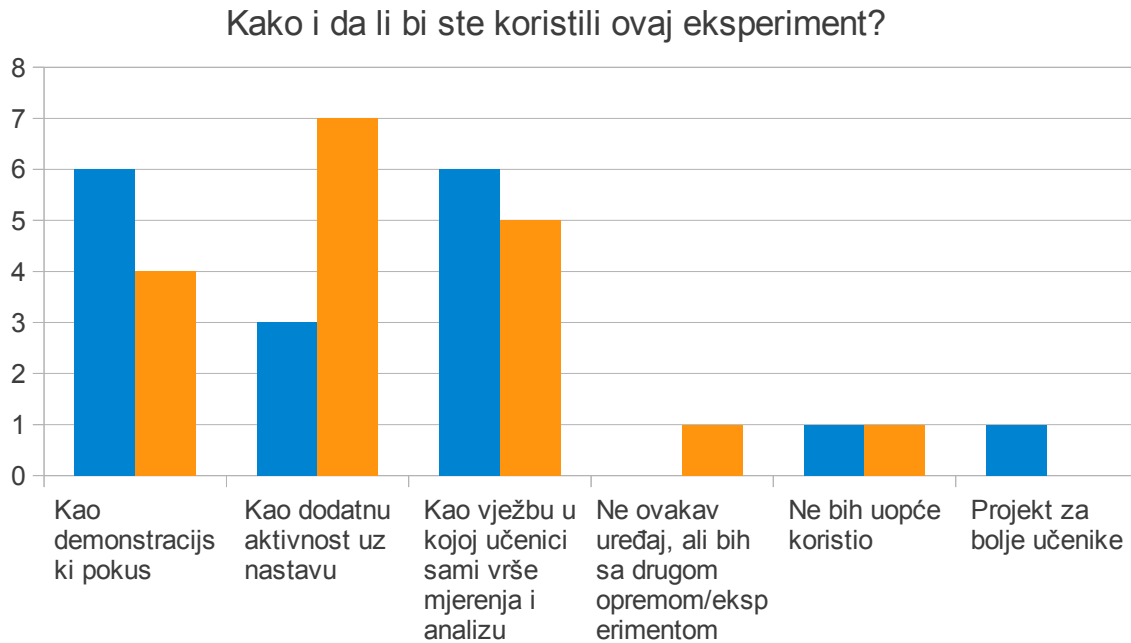
Nastavnički stavovi vezani uz korištenje eksperimenata u nastavi kvantne fizike nešto su manje pozitivni u usporedbi sa stavovima u nastavi fizike općenito. Nastavnici pretežno misle da bi im eksperimenti pomogli u nastavi, no troje nastavnika unatoč tome što misle da bi bili korisni ne objašnjavaju zašto, a ostali navode manje pozitivnih razloga u odnosu na ranije pitanje. Glavni pozitivni razlog je to što bi korištenje eksperimenata trebalo povećati zornost nastave, te bi bilo poticajno za interes učenika. Dvoje nastavnika misli da korištenje eksperimenata u nastavi fizike ne bi osobito pomoglo.

3.2 Mišljenje o konkretnim eksperimentima iz kvantne fizike

Na kraju upitnika nastavnici su odgovarali na pitanja o dva eksperimenta koje bi mogli koristiti i koji su bili ukratko prezentirani s video izlaganjem:

1. Spektroskop s CD-om kao optičkom rešetkom - ukratko je izloženo kako ga napraviti, primjer korištenja, te osnovne prednosti i mane
2. Postav za mjerenje strujno-naponske karakteristike fotoćelije - ovaj eksperiment je prikazan kao primjer postava upravljanih na daljinu, a služi proučavanju fotoelektričnog efekta

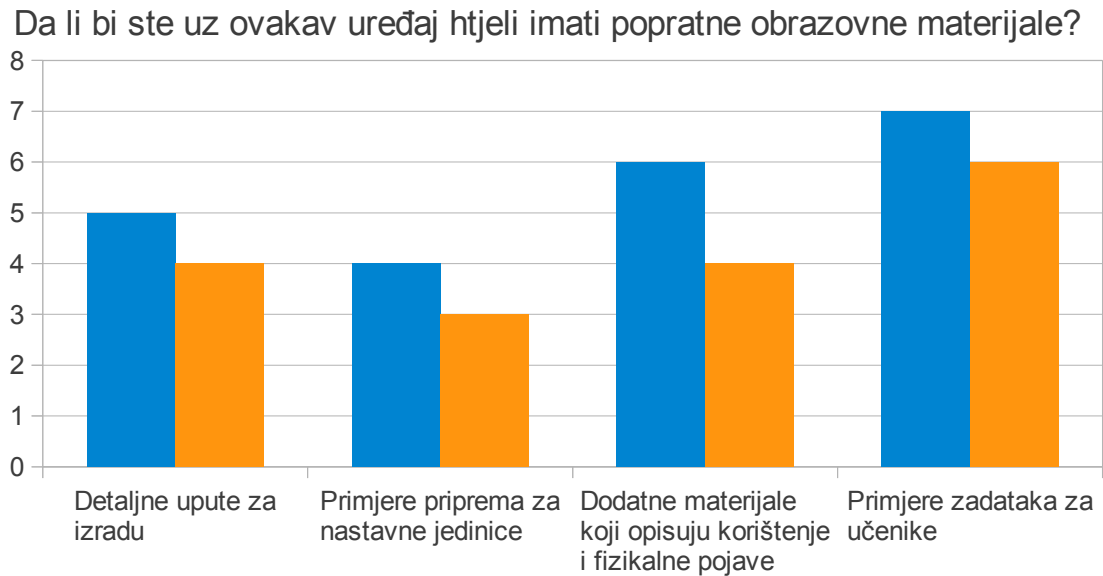
Ova dva primjera su odabrani pošto su jednostavni za izradu ili korištenje, a primjer za fotoelektrični efekt je odabran specifično zato da bi se vidjeo stav nastavnika o korištenju eksperimentalnih postava upravljanih na daljinu.



Slika 4: Interes nastavnika za korištenje spektroskopa (plavo) i postava upravljano na daljinu (narančasto), ovisno o tome u kakvim aktivnostima bi se koristio. Bazirano na odgovorima za pitanja “Da li biste koristili ovakav *eksperiment* u nastavi?”

Osnovno pitanje koje je bilo postavljeno nastavnicima je kako bi ga koristili u nastavi. Na slici 4 su usporedno prikazani odgovori za spektroskop i za postav s fotoćelijom. Čini se da je spektroskop interesantniji za korištenje kao demonstracijski pokus, dok je primjer eksperimenta na daljinu interesantniji kao dodatna aktivnost koja se ne bi nužno izvodila na nastavi. Oba primjera su podjednako interesantni kao vježba u kojoj učenici sami vrše mjerenja. Jedan nastavnik ne bi koristio niti jedan od ova dva primjera, dok drugom nastavniku ovaj konkretni primjer eksperimenta upravljano na daljinu nije interesantan, ali bi možda bio neki drugi. Jedan nastavnik je u polje za vlastiti primjer korištenja naveo da bi spektroskop koristio kao projekt za napredne učenike.

Drugo općenito pitanje vezano uz oba eksperimenta je vezano uz popratne materijale, tj. upute, obrazovne materijale za učenike, primjere korištenja i sl. Čini se da su nastavnicima najinteresantniji primjeri zadataka za učenike, a najmanje interesantne pripreme za nastavne jedinice koje bi uključivale ove eksperimente. Na slici 5 prikazan je usporedni pregled svih odgovora.



Slika 5: Interes nastavnika za popratne obrazovne materijale za korištenje spektroskopa (plavo) i postava upravljanoj na daljinu (narančasto), bazirano na odgovorima za pitanja “Da li biste uz ovakav uređaj željeli imati popratne obrazovne materijale?”

Osim ovih pitanja, nastavnici su mogli opisno izraziti svoje mišljenje o pojedinom eksperimentu. Na pitanje “Koje je vaše mišljenje o integriranju spektroskopije u nastavu?” nastavnici su se izjašnjavali pretežno pozitivno. Navodili su da im se ovakav postav čini atraktivan i zanimljiv, te da predstavlja konkretan primjer informacije koju učenici mogu lako potvrditi, tj. da ne ovise samo o slikama u udžbeniku. Kao dodatne prednosti navodili su da je lako izvediv, te da je moguća korelacija s nastavom kemije. Jedan nastavnik je naveo da je važno da učenici znaju analizirati spektre. Jedan od nastavnika koji već izvodi sličan eksperiment na laboratorijskim vježbama kritizirao je korištenje ovog postava kao demonstracijskog pokusa u teorijskoj obradi - čini mu se koristan na vježbama, ali kao gubljenje vremena ako učenici ne mogu sami izvoditi vježbu.

Na pitanje “Koje je vaše mišljenje o integriranju virtualnog laboratorija u nastavu?” nastavnici su se izražavali negativnije nego prema primjeru za spektroskopiju. Petero nastavnika navodi da im se eksperimentalni postav čini zanimljivim, ali svi također navode i neke problematične aspekte. Jedan nastavnik navodi da mu se ovo čini kao dobar primjer kompjuterizacije mjerenja, te prilika za razvoj vještine kontrole pokusa, ali i da očekuje da će učenicima trebati vremena da se naviknu na ovakav rad (i drugi nastavnici navode da im sučelje djeluje komplicirano). Petero nastavnika navodi da bi se ako je ikako moguće pokus koji pokazuje fotoelektrični efekt trebao izvesti uživo, dvoje nastavnika eksplicitno naglašava da ne vide razliku između izvođenja eksperimenta na daljinu i toga da nastavnik samo drži

predavanje, a dvoje nastavnika navodi da im se ovo čini kao simulacija te da bi učenici to doživjeli kao lažiranje (nastavnik #7: *“Opći stav učenika je da je to sve naštimano, draže mi je bilo što što nije virtualno”*). Troje nastavnika ima isključivo negativno mišljenje o ovakvom izvođenju eksperimenata. Jedan nastavnik se osvrnuo na korištenje fotoćelije, te misli da ovaj konkretni postav neće pomoći učenicima da shvate bit fotoelektričnog efekta.

4. Rasprava

Ranije sam napomenuo da se zbog malog odaziva nastavnika podaci izneseni u prošlom poglavlju ne mogu smatrati reprezentativnima, te da se ne mogu validno statistički analizirati. S obzirom da nisam našao druga istraživanja koja se bave pitanjem korištenja eksperimenata u srednjoškolskoj nastavi fizike u Hrvatskoj ne postoje drugi objektivniji podaci s kojima bi mogao usporediti rezultate svojeg istraživanja. No kako se obično pretpostavlja da se u nastavi fizike izvodi malo eksperimenata moguće je da se nastavnici koji ne izvode eksperimente naprosto nisu javljali na anketu, što je rezultiralo malim odazivom i rezultatom po kojem većina nastavnika izvodi eksperimente.

Među nastavnicima koji se jesu javili na anketu vidljiv je trend po kojem ipak nešto manje izvode eksperimente iz područja kvantne fizike, u usporedbi s količinom eksperimenata koje općenito rade za sva područja fizike zajedno. No vidljivo je da i nastavnici koji ne izvode te eksperimente već imaju namjeru koristiti ih ili bi uz vanjsku pomoć to počeli.

Što se tiče nastavnčkih stavova, odgovore sam pokušao usporediti s kategorijama koje navodi Wellington (1998, str. 7). Vidi se značajno poklapanje stavova o kognitivnim i afektivnim razlozima za korištenje eksperimenata, dok se naši nastavnici u manjoj mjeri izjašnjavaju o generalnim vještinama koje učenici stječu sudjelovanjem u eksperimentima. Moglo bi se reći da nastavnici općenito imaju pozitivan stav prema korištenju eksperimenata u nastavi, a manji broj ih se osvrće na potencijalne probleme koji mogu nastati kod njihove pravilne primjene (u smislu postizanja pozitivnih učinaka u znanju učenika). Detaljnije informacije nije moguće dobiti bez promatranja stvarnih aktivnosti u razredu, što u sklopu ovog istraživanja nažalost nisam mogao izvesti zbog vremenskih ograničenja.

Također po opisanim mišljenjima nastavnika vezanih uz izvođenje eksperimenata iz kvantne fizike vidi se da općenito imaju manje razvijene konkretne stavove o tome zašto bi bili dobri za izvođenje i koje bi direktne koristi učenici imali od njih. Ovo upućuje na mogućnost da nastavnici precjenjuju pozitivne učinke koji bi nastali korištenjem eksperimenata iz područja kvantne fizike.

Iz komentara bi se također moglo zaključiti da nastavnici za demonstracijske pokuse preferiraju vrlo jednostavne eksperimentalne postavke koji omogućavaju brz prikaz učinaka. Kod fotoelektričnog efekta više nastavnika je navelo da ga koristi kao demonstracijski pokus i pritom su neki opisali postav u kojem je cinčana ploča spojena na elektroskop. Zatim se ta ploča osvjetljava s različitim izvorima svjetlosti, te elektroskop pokaže nabijanje cinčane

ploče ako se osvijetli ultraljubičastim svjetlom. Ovaj pokus omogućava zorno opisivanje fizikalnog modela koji se želi pokazati, a to je da kod fotoelektričnog efekta emisija elektrona iz metala ovisi o frekvenciji elektro-magnetskog zračenja, a ne o njegovom intenzitetu.

Eksperiment upravljan na daljinu koji je predstavljen u upitniku nema tu razinu zornosti u odnosu na eksperiment koji nastavnici izvode uživo. Makar omogućava kontrolu više faktora koji su ključni u proučavanju fotoelektričnog efekta većina informacija koja se dobiva dolazi do nas posredno - mjerenjem strujno-naponske karakteristike koja je povrh toga mjerena na udaljenom računalu i prikazana na računalu. U tom smislu može se pojasniti negativan stav nastavnika pošto su spremni žrtvovati proučavanje fizikalnog modela za zornost.

Ovakvo stajalište je donekle u raskoraku s idejom da bi eksperimenti trebali služiti povezivanju teorijskih spoznaja s promatranjima. Zorni pokus s nabijanjem metalne ploče uz pomoć UV svijetla bi se svakako trebao izvesti, ali u njemu puno toga ostaje "nevidljivo". Moguće je zorno pokazati da se dešava nabijanje ploče, ali ne i konstrukcija fizikalnog modela koji opisuje ponašanje izbijenih elektrona. Eksperimentalni postav upravljan na daljinu omogućava kontrolu ključnih faktora pomoću kojih se može izmjeriti zaustavni napon, te preko toga doći do kinetičke energije koju elektron ima pri izlasku iz metalne ploče. Dakle izvođenjem tog eksperimenta učenici mogu dobiti uvid u sam fizikalni model. Idealan slučaj korištenja uključivao bi korištenje zornog pokusa uživo, eksperimentalnog postava koji omogućava mjerenje strujno-naponske karakteristike fotoćelije (pokus u razredu ili na daljinu) te simulacije koja bi omogućila uvid u ponašanje dijela modela koji nije očit kroz direktna mjerenja - npr. što se dešava s elektronima kada ih svjetlost izbije iz metalne ploče, a na fotoćeliju je narinut napon koji je jednak zaustavnom naponu.

Još jedno mišljenje koje je bilo izraženo od strane dijela nastavnika koji su se odazvali na istraživanje je da se korištenjem računala potpuno gube pozitivni učinci korištenja eksperimenata u nastavi. Ovo stajalište je u raskoraku s postojećim istraživanjima u kojima su pozitivni učinci na razumijevanje učenika uočeni samo korištenjem simulacija uz drugačije oblikovanje podučavanja (npr. Zollman, Robello i Hogg 2002, Mckagan, Perkins i Wieman 2008, Mckagan i sur. 2009), dakle samo izvođenje pokusa uživo ne predstavlja ključan utjecaj na konceptualno razumijevanje učenika. Također dodatni faktor u korištenju računala trebala bi biti i činjenica da se danas mnoga istraživanja vrše isključivo indirektno pomoću skupljanja mjernih podataka na računalu, te se u mnogim slučajevima podaci obrađuju na udaljenim lokacijama od samog eksperimenta. Ako učenici stvarno misle da su takve informacije nevjerodostojne, kao što sugerira jedan od nastavnika, problem se ne može zaobići samo korištenjem zornih eksperimenata u razredu.

Do sada prikupljenji odgovori nastavnika su zanimljivi i ukazuju na potrebu da se ovakvo istraživanje izvede na reprezentativnom uzorku. Istraživanje bi trebalo proširiti kako bi se ispitalo i zašto nastavnici imaju određene stavove, tj. je li to posljedica njihovog obrazovanja tokom studija, daljnjeg stručnog usavršavanja, praćenja trendova ili nekog drugog uzroka. Osim toga važno je stavove usporediti sa stvarnim aktivnostima u nastavi, kako bi se vidjelo postoje li razlike između mišljenja nastavnika i učinaka korištenja eksperimenata u nastavi kvantne fizike.

Ove informacije bi bile korisne kao osnova za razvoj novijeg programa nastave fizike. Sadržaji iz kvantne fizike su u programu trenutačno predstavljeni više kao povijesni pregled istraživanja, za razliku od ostatka programa gdje je naglasak na fizikalnim modelima. U slučaju izrade novog programa vrlo važno je znati koje izmjene bi bile najkorisnije, te kako izmijeniti početno obrazovanje i stručno usavršavanje nastavnika.

5. Zaključak

U radu je istražena mogućnost korištenja eksperimenata u nastavi kvantne fizike po srednjoškolskom programu koji se provodi u Hrvatskoj. Program predviđa korištenje eksperimenata, no nastavnici sami biraju da li i u kojoj mjeri će ih koristiti. Iz tog razloga napravio sam pregled ideja o tome kako je najbolje uklopiti eksperimente u nastavu fizike. Napravio sam analizu eksperimenata koji su nastavnicima dostupni za izvođenje, te kakva je njihova iskoristivost po postojećim istraživanjima što je prikazano u drugom poglavlju. Prema prikupljenim informacijama većina eksperimenata iz područja kvantne fizike koji se uklapaju u postojeći program fizike, a mogu se jednostavno samostalno izraditi ili kupiti, proučavaju fotoelektrični efekt ili spektre. Osim eksperimenata koji su dostupni za izvođenje u razredu ili laboratoriju postoji i niz eksperimenata kojima je moguće upravljati na daljinu.

Na bazi analiziranih eksperimenata konstruiran je upitnik za nastavnike fizike kojim sam htio istražiti mišljenja i iskustva koje nastavnici imaju o korištenju eksperimenata u nastavi fizike općenito, specifično u kvantnoj fizici te mišljenja o specifičnim eksperimentima iz spektroskopije (fizički postav) i fotoelektričnog efekta (postav upravljan na daljinu). U istraživanju se odazvalo svega deset nastavnika tako da dobivene zaključke nije moguće generalizirati na cijelu populaciju srednjoškolskih nastavnika fizike u Hrvatskoj. Od nastavnika koji se jesu odazvali većina koristi eksperimente u nastavi (u cijelom programu fizike) i ima pozitivne stavove o njima. Nešto manji udio nastavnika koristi eksperimente u nastavi kvantne fizike, a kao glavnu prepreku navode nedostatak opreme. Svi nastavnici koji su rekli da ih ne koriste bi to učinili kada bi imali uvjete za to, te imaju pozitivne stavove o korištenju eksperimenata u nastavi kvantne fizike. Što se specifičnih eksperimenata tiče više nastavnika je pokazalo interes za eksperimentom iz spektroskopije, dok su o eksperimentu koji pokazuje fotoelektrični efekt imali negativni stav primarno zbog toga što se radi o eksperimentu upravljanom na daljinu.

Ove informacije pokazuju da postoji interes za uključivanje više eksperimentalnog rada u nastavi kvantne fizike, no za dublji uvid bilo bi potrebno napraviti istraživanje u školama koje bi uključivalo promatranje postojeće nastave i usporediti to s načinom izvođenja koji se preporuča za uključivanje eksperimenata u nastavu fizike. Uz promatranje nastave istraživanje o stavovima nastavnika trebalo bi provesti na reprezentativnom uzorku, kako bi se mišljenja mogla usporediti sa stvarnim aktivnostima. Usporedba mišljenja nastavnika sa objektivnim učincima eksperimenata u nastavi može se iskoristiti za značajno unaprijeđenje obrazovanja i usavršavanja nastavnika fizike.

6. Literatura

- Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does Practical Work Really Work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.
- Baranović, B. (Ed.) (2006). *Nacionalni kurikulum za obvezno obrazovanje u Hrvatskoj : različite perspektive*. Zagreb: Institut za društvena istraživanja.
- Barron, B. J. S., Schwartz, D. L., Vye, N. J., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., & Bransford, D. J. (1998). Doing with understanding: Lessons from research on problem and project-based learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 7, 271–311.
- Brown, D. (2005). Spectroscopy Using the Tracker Video Analysis Program. *Poster presented at AAPT Summer Meeting*. Salt Lake City, UT.
- Brown, J.S., Collins, A. and Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning, *Educational Researcher*, 18, 32–41.
- Cerini, B., Murray, I. and Reiss, M. J. (2003). *Student Review of the Science Curriculum: Major Findings*. London: Planet Science.
- Crouch, C., Fagen, A. P., Callan, J. P., & Mazur, E. (2004). Classroom demonstrations: Learning tools or entertainment? *American Journal of Physics*, 72(6), 835.
- Dillon, J. (2008). *A Review of the Research on Practical Work in School Science*. London.
- Dimitrova, T. L., & Weis, A. (2008). The wave-particle duality of light: A demonstration experiment. *American Journal of Physics*, 76(2), 137-142.
- Driver, R. (1995). Constructivist approaches to science teaching. In L. P. Steffe & J. Gale (Eds.), *Constructivism in education* (p. 385–400). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Etkina, E., Van Heuvelen, A., Brookes, D. T., Mills, D. (2002). Role of experiments in physics instruction – a process approach. *Physics Teacher*, 40(6), 351-355.
- Falk, J. (2004). Developing a quantum mechanics concept inventory. Licentiat thesis, Uppsala University.
- Falk, J. (2007). Students' depictions of quantum mechanics: a contemporary review and some implications for research and teaching. Master thesis, Uppsala University.
- Fischler, H., Lichtfeld, M. (1992). Modern physics and students' conceptions. *Int. J. Sci. Educ.* 14, 181
- Fletcher, P. R. (2004). How tertiary level physics students learn and conceptualize quantum mechanics. Doctoral thesis, *University of Sydney*, Sydney.
- Galvez, E. J., Holbrow, C. H., Pysker, M. J., Martin, J. W., Courtemanche, N., Heilig, L., & Spencer, J. (2005). Interference with correlated photons: Five quantum mechanics experiments for undergraduates. *American Journal of Physics*, 73(2), 127.

- Garver, W. P. (2006). The Photoelectric Effect Using LEDs as Light Sources. *The Physics Teacher*, 44(5), 272-275.
- Nastavni programi za gimnazije, *Glasnik Ministarstva prosvjete i športa broj 1*, Školske novine, Zagreb, 1994.
- Gunstone, R. F. (1991). Reconstructing theory from practical experience. In Woolnough, B. E. (Ed.), *Practical Science* (pp. 67–77). Milton Keynes: Open University Press.
- Hand, B., Wallace, C. W., & Yang, E. (2004). Using a Science Writing Heuristic to enhance learning outcomes from laboratory activities in seventh-grade science: quantitative and qualitative aspects. *International Journal of Science Education*, 26(2), 131-149.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- Internet School Experimental System (ISES), Faculty of Mathematics and Physics, Charles University Prague. Preuzeto sa: www.ises.info/index.php/en/laboratory (29.6.2012.)
- Ispitni katalog za državnu maturu u školskoj godini 2009./2010. Zagreb: Nacionalni centar za vanjsko vrednovanje obrazovanja
- Johnston, I. D., Crawford, K., & Fletcher, P. R. (1998). Student difficulties in learning quantum mechanics. *International Journal of Science Education*, 20(4), 427-446.
- Kelsey, Michael H. (2009), Observing single photons,
Preuzeto sa: www.instructables.com/id/Observing-single-photons/ (25. lipnja, 2012)
- Kraftmakher, Y. (2012). Demonstrations of optical spectra with a video camera. *Physics Education*, 47(2), 184-188.
- Krsnik, R. (2008). *Suvremene ideje u metodici nastave fizike*. Zagreb: Školska knjiga
- Lawrence, I. (1996). Quantum physics in school. *Physics Education*, 31(5), 278-286.
- Mandić, L., Kotnik-Karuza, D., & Sarta-Deković, M. (2003). Methodological approach to modern physics experiments. In M. Micheli (Ed.), *Quality Development in Teacher Education and Training, Second International GIREP Seminar*. Udine: Editrice Universitaria Udinese.
- McKagan, S. B., Handley, W., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2009). A Research-Based Curriculum for Teaching the Photoelectric Effect. *American Journal of Physics*, 77(1), 87.
- McKagan, S., Perkins, K., & Wieman, C. (2008). Why we should teach the Bohr model and how to teach it effectively. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 4(1), 1-10.
- McKagan, S. B., & Wieman, C. E. (2005). Exploring student understanding of energy through the quantum mechanics conceptual survey. In P. Heron, L. Mc-Cullough, & J. Marx (Eds.), *AIP Conference Proceedings, Vol. 818 (2005 Physics Education Research Conference)* (pp. 65-68). Salt Lake City, Utah: American Institute of Physics.
- Meyn, J., & Bronner, P. (2009). QuantumLab. Preuzeto sa: www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/quantumlab/english/index.html (25. lipnja, 2012)

- Millar, R., Maréchal, J.F., & Buty, C. (2005). *A map of the variety of labwork*. York, United Kingdom.
- Milošević, S., Krstulović, N., Čutić, N. (2005). *Spektroskopija u školi*. Zagreb: Institut za fiziku, preuzeto sa: subaza.ifs.hr/onlineverzija/ (29.6.2012.)
- Muller, D. (2005). Inside the quantum mechanics lecture: changing practices. *The Higher Education Research and Development Society of Australasia* (pp. 328-336). Sydney, Australia: HERDSA.
- Muller, D. A. (2008). Designing Effective Multimedia for Physics Education. Doctoral thesis, University of Sydney.
- Müller, R., & Wiesner, H. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level. *American Journal of Physics*, 70(3), 200.
- Müller, R. (2003). *Quantenphysik in der Schule* (Vol. 26): Logos.
- Nastavni plan za prirodoslovne gimnazije - program za fiziku, preuzeto sa: www.ncvvo.hr/drzavnamatura/web/public/dokumenti (20.6.2012.)
- Novosel, I. (2007). *Izrada spektroskopa*. Split: Ljetna tvornica znanosti, preuzeto sa: www.tvornica-znanosti.org/arhiva/2007/izrada-spektroskopa (29.6.2012.)
- Okvirni nastavni program fizike za srednje strukovne škole, preuzeto sa: www.ncvvo.hr/drzavnamatura/web/public/dokumenti (20.6.2012.)
- Olsen, R. V. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: A study in Norway. *International Journal of Science Education*, 24(6), 565-574.
- Patton, Alec (2012). *Work that matters: The teacher's guide to project-based learning*. London: Paul Hamlyn Foundation.
- Polman, J. L. (1999). *Designing Project-Based Science: Connecting Learners through Guided Inquiry*. New York: Teachers College Press.
- Powell, R. A. (1978). Photoelectric effect: Back to basics. *American Journal of Physics*, 46(10), 1046-1051.
- Remotely Controlled Laboratory (RCL), Department of Physics, Technical University of Kaiserslautern, Germany. Preuzeto sa: rcl.physik.uni-kl.de (29.6.2012.)
- Revised Nuffield Advanced Physics Teachers' Guide 2: Units H to L (1986), London. preuzeto sa: www.nationalstemcentre.org.uk/elibrary/resource/3199/revised-nuffield-advanced-physics-teachers-guide-2-units-h-to-l (20.6.2012.)
- Roth, W. M. (1995). *Authentic Science: Knowing and Learning in Open-inquiry Science Laboratories*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- Séré, M.-G., Leach, J., Niedderer, H., Psillos, D., Tiberghien, A., & Vicentini, M. (1998). Improving Science Education: issues and research on innovative empirical and computer-based approaches to labwork in Europe.
- Singh, C., Belloni, M., & Christian, W. (2006). Improving students' understanding of quantum mechanics. *Physics Today*, (August), 43-49.

- Sokoloff, D. R., & Thornton, R. K. (1997). Using interactive lecture demonstrations to create an active learning environment. *Physics Teacher*, 35, 340-347.
- Steinberg, R. N., Oberem, G. E., & McDermott, L. C. (1996). Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect. *American Journal of Physics*, 64(11), 1370-1379.
- Styer, D. F. (1996). Common misconceptions regarding quantum mechanics. *American Journal of Physics*, 64(1), 31-34.
- TIMSS (1997). *Third International Mathematics and Science Study*. Slough: NFER.
- Thorn, J. J., Neel, M. S., Donato, V. W., Bergreen, G. S., Davies, R. E., & Beck, M. (2004). Observing the quantum behavior of light in an undergraduate laboratory. *American Journal of Physics*, 72(9), 1210-1219.
- Tobin, K. G. (1990). Research on science laboratory activities. In pursuit of better questions and answers to improve learning. *School Science and Mathematics*, 90, 403-418.
- Weis, A., & Wynands, R. (2003). Three demonstration experiments on the wave and particle nature of light. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, c, 67-73.
- Wellington, J. (Ed.) (1998). *Practical Work in School Science. Which Way Now?* London: Routledge.
- Wenger, E. (1998). *Communities of Practice: Learning, Meaning, and Identity*. New York: Cambridge University Press.
- White, R. T., Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer Press.
- Widiatmoko, E., Widayani, Budiman, M., Mikrajuddin, A., & Khairurrijal. (2011). A simple spectrophotometer using common materials and a digital camera. *Physics Education*, 46(3), 332-339.
- Williams, S. M. and Hmelo, C. E. (1998). Guest editors' introduction, *The Journal of the Learning Sciences*, 7, 265-270.
- Wilkinson, J.W., Ward, M. (1997). The purpose and perceived effectiveness of laboratory work in secondary schools. *Australian Science Teachers' Journal*, 43-55.
- Wittmann, M. C., Steinberg, R. N., & Redish, E. F. (2002). Investigating student understanding of quantum physics: Spontaneous models of conductivity. *American Journal of Physics*, 70(3), 218-226.
- Zollman, D. (1999). Research on teaching and learning quantum mechanics. In D. Zollman (Ed.), *Annual meeting of National Association for Research in Science Teaching* (p. 46). National Association for Research in Science Teaching.
- Zollman, D. A., Rebello, N. S., & Hogg, K. (2002). Quantum mechanics for everyone: Hands-on activities integrated with technology. *American Journal of Physics*, 70(3), 252.

Prilog - Upitnik korišten u istraživanju o korištenju eksperimenata u nastavi i stavova nastavnika

U ovom prilogu opisan je upitnik korišten u istraživanju. Upitnik je izrađen pomoću Google Docs formulara, a umetnut je u web stranicu kako bi se uz njega mogli prikazivati i snimke primjera korištenja eksperimenata. Verzija koju su ispunjavali nastavnici dostupna je na web stranici:

<https://sites.google.com/site/eksperimentkvantna/>

U upitniku su ucrtani kvadrati na svim mjestima gdje je nastavnicima bilo omogućeno unošenje vlastitih odgovora, a u web primjerku se video opisi eksperimenata prikazuju s desne strane pored sekcija upitnika na koje se eksperimenti odnose. Po završetku upitnika odgovori se automatski unose u interaktivnu tablicu u kojoj je i vršena obrada podataka.

Ovaj upitnik sastavljen je za potrebe izrade diplomskog rada "Eksperiment u nastavi kvantne fizike". Cilj je prikupiti informacije o stavovima srednjoškolskih i sveučilišnih nastavnika o uporabi eksperimenata u sklopu nastave kvantne fizike. Pitanja su vezana uz trenutačno stanje u nastavi, te se ispituje stav o konkretnim prijedlozima koji su opisani sa popratnim snimljenim objašnjenjima. Upitnik je anonimn, ali se skupljaju informacije o školi u kojoj radite. Ispunjavanje upitnika, zajedno sa gledanjem informativnih videa traje oko 30 minuta. Neka pitanja su obavezna i označena su **crvenom zvjezdicom**.

Ivan Novosel
student nastavničkog smjera fizika i informatika
Prirodoslovno matematički fakultet sveučilišta u Splitu
ivanov@pmfst.hr

Opće informacije

Pitanja vezana uz nastavnu ustanovu u kojoj radite, te iskustvo u radu.

Ime obrazovne ustanove u kojoj radite *

U kojem mjestu se nalazi obrazovna ustanova? *

Tip obrazovne ustanove *

- Opća gimnazija
- Jezična gimnazija
- Klasična gimnazija
- Prirodoslovno-matematička gimnazija
- Prirodoslovna gimnazija

- Strukovna škola sa 3 ili 4-godišnjim programom fizike
- Sveučilište

Koliko dugo predajete fiziku? *(ukupno u radno vijeku)

Korištenje eksperimenata u radu (ukupno)

Pitanja vezana uz vaša iskustva i stavove oko korištenja eksperimenata u radu, općenito u nastavi fizike.

Kako koristite eksperimente u vašem radu? *

Pitanje se odnosi na ukupni program fizike. Pod eksperimentom se misli na izvođenje fizičkih pokusa ili izvođenje konkretnih mjerenja neke pojave. Npr. korištenje simulacija se ne smatra eksperimentom. -- (možete odabrati više opcija i/ili upisati svoju)

- Izvodim demonstracijske pokuse
- Učenici samostalno izvode eksperimente
- Učenici izvode eksperimente u grupama
- Ne koristim eksperimente u nastavi
- Drugo:

Koliko često koristite eksperimente u vašem radu?

Ukoliko ih koristite procijenite koliko često, ako možete odredite koliko puta godišnje.

Koji je vaš stav vezan uz korištenje eksperimenata u nastavi? *

Zašto ih koristite (ili ne)? Za što su korisni ili nepraktični? Pomaže li vam na ikoji način korištenje eksperimenata? Kako mislite da učenici reagiraju na njih?

Nailazite li na prepreke pri korištenju eksperimenata?

(možete odabrati više opcija i/ili upisati svoju)

- Nedostaje mi adekvatna oprema
- Priprema oduzima mnogo vremena
- Eksperimenti predugo traju
- Teško je uklopiti pojedine eksperimente u nastavne cjeline
- Učenicima su takve aktivnosti teške
- Drugo:

Korištenje eksperimenata u nastavi kvantne fizike

Pitanja vezana uz vaša iskustva i stavove oko korištenja eksperimenata u radu, općenito u nastavi fizike.

Koristite li eksperimente pri obradi gradiva iz područja kvantne fizike? *

Pod eksperimentom se misli na izvođenje fizičkih pokusa ili izvođenje konkretnih mjerenja neke pojave. Npr. korištenje simulacija se ne smatra eksperimentom. -- (možete odabrati više opcija i/ili upisati svoju)

- Izvodim demonstracijske pokuse
- Učenici samostalno izvode eksperimente
- Učenici izvode eksperimente u grupama
- Ne koristim eksperimente u nastavi kvantne fizike
- Drugo:

Ako koristite eksperimente, koje eksperimente izvodite?

Navedite naziv eksperimenta i u koju svrhu ga radite (što s njime želite postići)

Ukoliko ne koristite eksperimente, koji je razlog?

Ukratko opišite razlog ne korištenja (nepostojanje opreme, kompliciranost izvođenja, nedostatak vremena i sl.)

Mislite li da bi vam eksperimenti mogli pomoći u nastavi kvantne fizike? Ukoliko ih radite pomažu li vam eksperimenti? *

Npr. čini li vam se da bi nastava bila zanimljiva, da bi učenici više naučili ili možda ne?

Primjer 1 - spektroskopija u nastavi - primjer fizičkog pokusa za izvođenje u razredu

Molim vas da pogledate informativni video o korištenju jednostavnog spektroskopa, koji se nalazi sa desne strane. Video traje 4 minute i ukratko opisuje izgled spektroskopa i potencijalnu primjenu. Zatim odgovorite na pitanja.

Da li biste koristili ovakav uređaj (spektroskop) u nastavi? *

Moguće je dati više odgovora i/ili nadopisati svoj

- Kao demonstracijski pokus za poticanje rasprave
- Kao dodatnu aktivnost uz nastavu (kao domaća zadaća i sl.)
- Kao vježbu u kojoj učenici sami vrše mjerenja i analizu
- Ne bih koristio ovakav uređaj, ali bih sa kvalitetnijom opremom
- Ne bih uopće koristio
- Drugo:

Da li biste uz ovakav uređaj željeli imati popratne obrazovne materijale?

Moguće je dati više odgovora i/ili nadopisati svoj

- Detaljne upute za izradu
- Primjere priprema za nastavne jedinice
- Dodatne obrazovne materijale koji opisuju korištenje i fizikalne pojave
- Primjere zadataka za učenike
- Drugo:

Koje je vaše mišljenje o integriranju spektroskopije u nastavu?

Općeniti komentar, što vam se sviđjelo ili ne...

Primjer 2 - mjerenje fotoelektričnog efekta - primjer fizičkog pokusa upravljanog na daljinu

Molim vas da pogledate informativni video o korištenju virtualnog laboratorija, tj. eksperimenta koji se upravlja sa udaljene lokacije. Konkretni primjer je vezan uz fotoelektrični efekt. Video traje 4 minute i ukratko opisuje izgled sučelja i potencijalnu primjenu. Zatim odgovorite na pitanja.

Da li biste koristili virtualni laboratorij u nastavi? *

Moguće je dati više odgovora i/ili nadopisati svoj

- Kao demonstracijski pokus za poticanje rasprave
- Kao dodatnu aktivnost uz nastavu (kao domaća zadaća i sl.)
- Kao vježbu u kojoj učenici sami vrše mjerenja i analizu
- Ne bih koristio ovaj eksperiment, ali bih možda koristio neki drugi
- Ne bih uopće koristio

- Drugo:

Da li biste uz ovakav uređaj željeli imati popratne obrazovne materijale?

Moguće je dati više odgovora i/ili nadopisati svoj

- Detaljne upute za izradu
- Primjere priprema za nastavne jedinice
- Dodatne obrazovne materijale koji opisuju korištenje i fizikalne pojave
- Primjere zadataka za učenike
- Drugo:

Koje je vaše mišljenje o integriranju virtualnog laboratorija u nastavu?

Općeniti komentar, što vam se sviđelo ili ne...

Kraj ankete

Hvala što ste ispunili anketu, kako bi se podatci ubilježili molim da pritisnete gumb Submit (Pošalji) koji se nalazi pri dnu. Ukoliko imate neki konačni komentar ili upit (npr. prijedlog drugih eksperimenata za koje bi ste voljeli imati razrađene) možete ga ostaviti u okviru za upit ispod ili ga možete poslati na e-mail adresu ivanov@pmfst.hr