

Vizija fizičke hemije

U odnosu na modernu hemiju, fizička hemija se može nazvati hemijom budućnosti.

Iz govora E. du Bois-Reymond-a povodom prijema H. Landolta u Kraljevsku prusku akademiju nauka, 1882, citirano (W. Ostwald) u prvom broju časopisa *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, Leipzig, 1887.

1. Mesto Fizičke hemije u porodici prirodnih nauka

Smatramo da bi bilo pretenciozno, a i nepotrebno izmišljati novu definiciju jedne tako klasične naučne discipline kao što je fizičke hemija. Zato na početku navodimo skraćeni uvod u *Udžbenik fizičke hemije* Egerta, Hoka i Švaba iz davne 1960. (J. Eggert, L. Hock, G.-M. Schwab, *Lehrbuch der Physikalischen Chemie*, S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1960) u nadahnutom prevodu našeg uvaženog profesora Sl. Ristića, (*Udžbenik fizičke hemije*, Naučna knjiga, Beograd 1964):

„Ukoliko se većma razvijaju egzaktne prirodne nauke, utoliko više iščezavaju konture njihovih posebnih oblasti, pa je utoliko teže odrediti njihov sadržaj. U osnovi je to i izlišno, jer, istraživanje znači pre svega otkrivanje novih činjenica. Kako se pak one po spoljašnjosti svrstavaju u jednu ili drugu oblast, u osnovi je svejedno. Važnije je da se saznaju unutrašnje veze između pojava i da se one svedu pod što je moguće manji broj preglednih tačaka gledišta, koje vode računa o samim činjenicama, bez obzira na granice oblasti što su u ranija vremena bile povučene, a koje su većinom prilagođene ljudskim čulnim opažanjima.

Što smo ipak zadržali odvojene nazive za pojedine grane nauka, to je učinjeno iz praktičnih razloga.

...

Naročito prisno su međusobno srasle fizika, hemija i fizička hemija. Nas će zanimati fizička hemija, pa samo da bismo olakšali uvođenje u tu naučnu oblast, povući ćemo sledeće granice prema obema naukama:

Hemija se bavi izgradnjom materije i njenim promenama u krupnim potezima; sintetički, na taj način što jednu supstanciju gradi iz druge, analitički, ako građu jedne supstancije dokazuje njenim sistematskim razlaganjem. Ona je pri tom u isti mah i učenje o strukturi i učenje o reakcijama.

Fizika se bavi opštim osobinama materije, kao i onim prirodnim procesima pri kojima materija ne trpi hemijske promene.

Fizička hemija teži, u okviru prvobitno naporedo praćenih istraživačkih smerova hemije i fizike, uzajamnom prožimanju obeju grana naših znanja, pa na taj način i *rešavanju hemijskih problema eksperimentalnim i teorijskim pomoćnim sredstvima fizike*. Reč je o tome da se doznaju fizičke uslovljenosti hemijskih reakcija, naročito prisna povezanost supstancijalnih i energetičkih promena stanja, pa se tako razjasni i njihov tok odigravanja u termičkom, električnom, kinetičkom i fotohemijskom pogledu. Pri tome je od osnovnog značaja pre svega upoznati finu građu atoma i molekula, kao i poznavanje njihovog združivanja u agregatna stana materije.

...

Podlogu naše nauke čini klasična atomska teorija, kojoj dugujemo zamisao da materija ne predstavlja kontinuum, već ima diskretnu, isprekidanu strukturu.

...

Na atomskoj teoriji se izgrađuje kinetička teorija materije. Ona sebi postavlja kao zadatak da u atomski svet uđe ‚mikroskopski‘, da bi ispitala dimenzije atoma, atomsku masu, rastojanja atomska i najposle građu samog atoma. (...) S druge strane, ona pokušava da iz ovih osobina atoma i molekula pomoću statističkih razmatranja izvede one zakone koji su nađeni na osnovu neposrednih posmatranja – ‚makroskopski‘ na materiji koja izgleda kontinualna.

Ovakav, izrazito makroskopski način razmatranja, svojstven je termodinamici, koja je uprkos svom suprotnom načinu rada dopunila i učvrstila kinetičko istraživanje.

...

I elektricitet se može svesti na izgrađivačke sastojke slične atomu, tako da se elektronska teorija, zbog svog zadiranja u teoriju atomske građe i teoriju elektrohemijskih i nuklearnih procesa, mora ubrojati kao neophodni sastavni material fizičke hemije.

Najzad, kvantna teorija (...) je postala osnova za istraživanje fizičkohemijskih pitanja.“

Ako ste skeptični u odnosu na ovu definiciju (koja je u stvari parafraza onoga što je Lomonosov napisao još 1751.) zato što potiče od pre više od pola veka, navedimo i sledeću, noviju, koju je uvelo *Society Francaise de Chemie – Division de Chimie Physique* (1998):

„Cilj fizičke hemije je razumevanje strukture, osobina i transformacija materije, od globalnog ponašanja do mehanizama na molekulskom nivou. Uloga fizikohemičara je da sakupi, uporedi i analizira eksperimentalne podatke iz svih grana hemije i da razvije prediktivne modele. Kao takva, fizička hemija leži u osnovi velikog dela moderne nauke i predstavlja motor za pokretanje napretka u veoma širokoj oblasti polja. Zasnovana na informacijama i konceptima hemije, fizike i matematike, fizička hemija doprinosi i biva stimulirana tako različitim oblastima kao što su medicina, molekularna biologija, biohemija, molekularno inženjerstvo, tehnologija, nauka o materijalima i zemlji.“

2. Potreba za Fakultetom za fizičku hemiju

U svetu *formalno* nema (mnogo) *fakulteta* za fizičku hemiju, ali *suštinski* oni postoje na svakom univerzitetu koji uključuje prirodne nauke. Po pravilu se nazivaju „instututima“ ili „departmanima“ za fizičku hemiju fakultetâ za hemiju (najčešće) ili (ređe) fiziku, ali se uvek odlikuju velikim stepenom autonomnosti i uvek uključuju manje-više isti skup naučnih disciplina [Atomistiku (pod raznim imenima, kao npr. Uvod u strukture materije, Osnove atomske/molekulske fizike/teorije i sl.), Termodinamiku, Hemijsku kinetiku, Spektroskopiju, Elektrohemiju, Radiohemiju, Kvantnu hemiju itd.]. Za razumnog čoveka bi činjenica da su „pravi“ fakulteti za fizičku hemiju relativno retki u svetu mogao (ili trebalo) da bude razlog da razmisli o svrsihodnosti postojanja Fakulteta za fizičku hemiju na Univerzitetu u Beogradu. Smatramo, međutim, da se ovde radi o izuzetku od tog obično pouzdanog pragmatičnog pravila. Činjenica je da se na hemijskim fakultetima u svetu studenti posle otprilike četiri semestra mogu orijentisati na fizičku hemiju, tj. provesti više godine studija u „Institutu za fizičku hemiju“ koji, kao što rekosmo, po pravilu postoji na svakom hemijskom fakultetu. Oni su, dakle, faktički u skoro istoj situaciji kao studenti Fakulteta za fizičku hemiju Univerziteta u Beogradu; naši studenti slušaju prve dve godine predmete koje mi nazivamo „opštim“: Matematiku I i II, Fiziku I i II, Neorgansku hemiju, Analitičku Hemiju, Organsku hemiju, eventualno Filozofiju nauka, uz još nekoliko obaveznih ili izbornih kurseva. Od treće godine studija oni učestvuju na „pravim“ fizičkohemijskim kursevima. Razlika je, dakle, pre u *imenu* fakulteta, nego u suštini. To je, bar delimično, posledica veće privrženost Zapada tradiciji – ovo se možda najjasnije ilustruje činjenicom da se na svetskim univerzitetima nakon doktoriranja iz neke od oblasti prirodnih nauka dobija titula *PhD* (doktor *filozofije!*). Međutim, postojanje našeg fakulteta nije samo, ili

preciznije, *uopšte nije* manifestacija ignorisanja tradicije. U članku *Physical Chemistry: A Curriculum 2004 and Beyond* koji su T. J. Zielinski i R. W. Schwenz objavili u časopisu *The Chemical Educator*, Vol 9, No 2, 2004, navodi se, pored ostalog:

„Fizička hemija je doživela dramatične promene u disciplinama, praćene porastom broja i tipova oblasti istraživanja. Studijski plan fizičke hemije takođe se znatno izmenio u odnosu na material iz Glestonove knjige (S. Glasstone, *Textbook of Physical Chemistry*, D. van Nostrand, 1940, 1946; na naš jezik preveli M. Šušić i A. Savić, *Udžbenik fizičke hemije*, Naučna knjiga, Beograd 1967), veći deo kojega se pojavljuje u modernoj opštoj hemiji, do širine sada prihvaćenog/dostupnog materijala (P. Atkins, J. dePaula, *Physical Chemistry*, 7nd ed., W.H. Freeman and Company, New York, 2002; R.S. Berry, S.A. Rice, J. Ross, *Physical Chemistry*, 2nd ed., Oxford University Press, New York, 2000; D.A. McQuarrie, J.D. Simon, *Physical Chemistry: A Molecular Approach*, University Science Books: Sausalito, CA, 1997). Pomoćna sredstva fizičko-hemijske učionice su se takođe promenila od šibera, logaritamskih tablica, table i krede do računara za grafiku, kompjutera sa simboličkom algebrom, softvera za kompjutacionu hemiju, internetskih izvora i ,inteligentnih tabli' (smart boards). Takođe se moraju uzeti u obzir i promene u odnosu studenata (prema nastavi) i naše razumevanje kako studenti uče.

Uprkos rastu sadržaja udžbenika, (nedovoljno) vreme izdvojeno za fizičku hemiju na tipičnom bečelorskom nivou programa hemije i dalje onemogućava proučavanje svih preporučenih oblasti. Dalje, postavlja se pitanje koliko temeljito se može obraditi bilo koja oblast za 90 nastavnih časova u jednogodišnjem kursu, kako nivo pripremljenosti/predznanja studenata za kurs omogućava praćenje sadržaja i dubine studija i kako hemijski koncepti i pedagogija udruženo rade/funkcionišu da bi kreirali modernu sliku fizičke hemije, kada se radi o fundamentalnim temama. Ove obuhvataju polje koje se prostire od biologije, tehnologije i forenzične nauke do prava. Postoji bitna razlika između kursa za mali broj studenata koji su izabrali fizičku hemiju da bi postali fizikohemičari, kursa koji predstavlja pregled onoga što fizikohemičari rade, i kursa koji daje studentu mogućnost da koristi sredstva moderne fizičke hemije. Na kraju, kako fizička hemija međusobno premošćuje kurseve fizike, hemije i matematike, ona je kurs na kojem studenti mogu razviti veštinu kompleksnog i kritičnog razmišljanja, koja se zahteva od naučnika koji rade na interdisciplinarnim projektima.“

Dakle, autori su potpuno svesni činjenice da je fizička hemija isuviše važna i široka naučna oblast da bi se mogla svesti u tradicionalne prostorno-vremenske okvire *jedne od disciplina hemije*. Zar nije onda logično pitanje zašto to uopšte pokušavati? Zašto ne nazvati stvari pravim imenima i otvoriti *fakultete* za Fizičku hemiju (kao što je naš), na kojima bi se svaka od spomenutih važnih disciplina fizičke hemije mogla temeljito izučiti. Sa divljenjem i ponosom konstatujemo da su naši slavni prethodnici, profesori Miloje Stojiljković i Pavle Savić, snagom argumenata, potpomognutoj sopstvenim naučnim ugledom, još u prvoj polovini prošlog veka izdigli Fizičku hemiju na isti hijerarhijski nivo na kojem se nalaze Fizika i Hemija.

3. „Opšti“ kursevi na fakultetu za fizičku hemiju

Kao i u slučaju svake druga nauka, izučavanje Fizičke hemije zahteva određena predznanja iz srodnih naučnih oblasti. Za nas su to matematika, fizika i hemija. Duga tradicija na Fakultetu za fizičku hemiju je postojanje kurseva nazvanih Matematika I i II, Fizika I i II, Neogranska Hemija, Analitička hemija i Organska hemija. Ovi predmeti dominiraju prvim dvema godinama studija na našem fakultetu.

U ovom delu teksta pokušaćemo da (budućim) studentima Fizička hemije objasnimo trenutnu situaciju, ali i da ih podstaknemo da svojim sopstvenim mišljenjem i iskustvom

pomognu nama, nastavnicima i saradnicima Fakulteta za fizičku hemiju, i našim kolegama sa drugih fakulteta koji drže nastavu našim studentima, da zajedno otklonimo nedostatke u trenutno važećim planovima i programima studija, da ih poboljšamo i osavremenimo.

U svetu postoji različita praksa kada se radi o „opštim predmetima“. Na mnogim univerzitetima npr. nastavu iz matematike za hemičare drže *hemičari* sa sklonošću ka matematici, ali po pravilu bez osnovnog (u smislu doktorata ili oblasti naučnog rada) obrazovanja u matematici. Neki fakulteti Univerziteta u Beogradu imaju *svoje* profesore Matematike, Fizike i Hemije, koji su doktorirali ili na matičnim fakultetima (tj. Matematičkom, Fizičkom, Hemijskom) ili na sopstvenom (npr. Elektrotehničkom). Nastavu i vežbe iz „opštih“ predmeta na našem fakultetu drže isključivo profesori i asistenti Matematičkog, Fizičkog i Hemijskog Fakulteta. To je logična posledica činjenice da su sve prirodne nauke ranije bile objedinjene u Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Beogradu. S druge strane, međutim, to je i izvor određenih problema. Nesporne su, naravno, prednosti ovakve koncepcije, jer je jasno da je teško očekivati da će hemičar, ma koliko bio blizak matematici, biti kompetentniji u njoj od pravog matematičara. Mora se, međutim priznati da ranije spomenuti suprotni koncept (da matematiku hemičarima predaje hemičar) nije lišen smisla. Naime, hemičar bolje od matematičara zna šta je od matematike *potrebno* hemičaru, i jednako važno, *kako* da mu se to znaje najefikasnije prenese. U vezi s tim, kursevi iz „opštih“ predmeta moraju se permanentno prilagođavati razvoju osnovnih disciplina fizičke hemije. Navedimo nekoliko primera.

Kursevi matematike su niz godina bili fokusirani uglavnom na matematičku analizu (diferencijalni i integralni račun, diferencijalne jednačine). Težište treba postepeno pomerati (to se u izvesnom smislu i postepeno čini) prema drugim oblastima matematike (prvenstveno ka linearnoj algebri). Za matematičare će matematička analiza, naravno, uvek imati neprikosnoveno mesto u hijerarhiji disciplina. Za savremenog fizikohemičara su, naprotiv, integrali i pogotovo diferencijalne jednačine umnogome izgubile na značaju u odnosu na situaciju od pre, recimo, pola veka. Ono što fizikohemičar mora da zna su *principi* postavljanja i rešavanja diferencijalnih jednačina, a ne brojni konkretni primeri. Relativno mnogo vremena oduzima učenje rešavanja npr. Bernulijeve ili Rikatijske diferencijalne jednačine, a malo je praktične koristi od tog znanja. Šredingerova jednačina, koja leži u osnovi teorijske hemije, danas se u praksi uopšte ne tretira kao parcijalna diferencijalna jednačina, već se umesto nje uz korišćenje računara rešavaju po pravilu (ogromni) sistemi algebarskih jednačina. Programski paketi kao *Matematika* mogu se u nizu slučajeva koristiti kao „crne kutije“ za rešavanje problema koji bi inače zahtevali mnogo matematičkog znanja i veliki utrošak vremena. Neke specijalne matematičke probleme koji se javljaju na njihovim kursovima, nastavnici bi trebalo sami da uvedu. Tako npr. profesor Fizike I ne mora da čeka da studenti na kursu iz Matematike I (koji teče paralelno) nauče šta je integral, da bi im objasnio definiciju rada; zašto opterećivati studente prve godine ermitskim polinomima, ako su oni potrebni tek na četvrtoj godini kada slušaju Kvantnu hemiju? S druge strane, neke matematičke discipline, kao npr. linearna algebra, predstavljaju ne samo osnovu, već, moglo bi se reći i suštinu niza disciplina fizičke hemije (npr. kvantne hemije).

Slična je situacija i sa fizikom. Studentima Fizičke hemije predaje se ono što fizičaru nazivaju „Opštim kursovima“ fizike. Postojanje ovih kurseva na matičnom (Fizičkom) fakultetu je, naravno, opravdano, jer studenti Fizike imaju zasebne kurseve Teorijske mehanike i Elektrodinamike, Elektronike, Teorije relativnosti ili Kvantne mehanike. Takođe je razumljivo, kada se radi o studentima Fizike, da odgovarajuće vežbe uključuju matematičko i fizičko klatno, određivanje koeficijenta torzije užeta i sl; one imaju svoj didaktički smisao. Trebalo bi, međutim, ozbiljno razmisliti o tome da li bi studentu Fizičke hemije bilo korisnije da umesto njih ima neku (ili više) vežbe(i) iz npr. elektronike. Moguće je, takođe, da bi za buduće fizikohemičare bilo

korisnije da umesto opštih kurseva fizike slušaju odabrana poglavlja teorijske fizike, u kojima bi jedinice kao kosi hitac, infinitezimalne oscilacije ili dinamika krutog tela bile tretirane samo kao primeri, koji bi se eventualno mogli obrađivati u okviru računskih vežbi.

Kada se radi o hemiji, smatramo da je studentima Fizičke hemije potrebno prilično temeljito poznavanje organske hemije, dok bi se npr. (za hemičare sigurno još uvek važna) analitička hemija mogla tretirati kao eksperimentalne vežbe koje prate kurs Neorganske hemije. Ne bi, naravno, bilo na odmet studentima Fizičke hemije da budu vešti u volumetriji ili gravimetriji. Problem je, međutim, da ima mnogo metoda koje su fizikohemičaru *važnije*. Da bih to ilustrirao, navešću samo spisak spektroskopskih metoda o kojima se govori u jednom klasičnom (čak ne ni preterano „svežem“ udžbeniku; W. Demtröder, *Experimentalphysik*, Springer, 1996): Mikrotalasna, Furijeova, Klasična emisiona i apsorpciona, Ramanska, Lasersko-apsorpciona, Fotoakustička, Laserski indukovana, Rezonantna dvofotonska, Štarkova, Fotoelektronska, Vremenski razložena, Spektrometrija masa, Elastično, Neelastično, Reaktivno rasejanje itd. Svaka od ovih metoda fizikohemičaru je dragocenija od kompletne analitičke hemije na mokrom putu. A ovo su, ponavljamo, bile samo spektroskopske metode. Slične dužine bio bi i spisak elektrohemijskih ili radiohemijskih metoda. Mesto koje bi oslobodila predavanja iz Analitičke hemije moglo bi se popuniti npr. dobrim kursom Biohemije.

4. „Strateški“ fizičkohemijski kursevi

Prema sadašnjem programu, studenti fakulteta za Fizičku hemiju slušaju oko trideset kurseva iz različitih disciplina fizičke hemije. One bi se mogle provizorno podeliti u dve grupe. Prvu čine predmeti koje bismo mogli nazvati „strateškim“. Oni uključuju one discipline kojima bi *svaki* fizikohemičar, bez obzira šta bi mu bila uža specijalnost, *morao* da vlada, jer oformljavaju ono što bismo nazvali „fizikohemičarskim načinom razmišljanja“.

Prvi od takvih blokova uključuje upoznavanje sa atomističko/molekulskim pogledom na svet. On bi u priličnoj meri bio pandan kursovima Atomske fizike, Molekulske fizike i Kvantne mehanike na Fizičkom fakultetu. U stvari, na našem fakultetu postoje tri ovakva kursa, jedan na samom početku, drugi u trećem semestru i treći pred kraj studija. U prvom se studenti na sasvim elementarnom nivou (primerenom prvenstveno njihovom još nedovoljnim poznavanju matematike) upoznavaju sa osnovnim pojmovima o strukturi materije; na drugom se detaljno izučava struktura atoma, a treći sadržava ono što se podrazumeva pod pojmovima kvantna ili teorijska hemija (odnosno, kvantna mehanika molekula).

Drugi strateški pristup je termodinamički. On se bazira na opisu makroskopskih pojava uz korišćenje ansambala mikročestica svedenih manje ili više na materijalne tačke. Elementi ovog kursa nalaze se u Opštem kursu fizičke hemije, Hemijskoj termodinamici i Statističkoj termodinamici.

Treća „strateška“ disciplina je hemijska kinetika. Ona se bavi proučavanjem vremenski zavisnih procesa, odnosno *toka* hemijskih reakcija.

Najzad, nezaobilazna grana fizičke hemije je spektroskopija (na našem fakultetu u okviru kurseva Atomske, Molekulske spektrohemijske i Fizičkohemijske analize). Ona uključuje najvažnije eksperimentalne metode za većinu disciplina fizičke hemije, ali ima i opštiji značaj, jer se upravo spektroskopskim merenjima verifikuju hipoteze i modeli teorijske fizičke hemije. Štaviše, sama reč „spektar“ predstavlja osnovni pojam i u eksperimentalnoj spektroskopiji (kao što samo ime kaže) – spekar je, naime, skup radijacija poređanih po talasnoj dužini - i u teorijskoj (kvantnoj) hemiji – skup rešenja Šredingerove jednačine naziva se spektrom operatora hamiltonijana.

5. Ključne i/ili specifične discipline Fizičke hemije

Fizička hemija ima svoje tradicionalne discipline kao što su elektrohemija, radiohemija, nuklearna hemija, fizička hemija čvrstog stanja, fizička hemija fluida itd. One nisu manje značajne od onih koje smo uslovno nazvali „strateškim“; student koji je ovladao samo znanjima iz „strateških disciplina“ teško da bi mogao bilo šta konkretno da radi. Međutim, moguće je zamisliti fizikohemičara uspešnog u nekoj specijalnoj oblasti fizičke hemije (npr. kvantnoj hemiji), koji ne zna mnogo o elektrohemiji. Obrnuto, neko ko se bavi elektrohemijom ne mora (još uvek) raditi *ab initio* kvantnohemijske proračune, ali mora poznavati i strukturu atoma i molekula, i termodinamiku i kinetiku.

Postavlja se pitanje da li treba i dalje negovati neke „tradicionalne“ fizikohemijske discipline i kada su one izgubile dosta od značaja koji su nekada imali. Tipičan primer je radiohemija. U pedesetim godinama prošlog veka, ne samo u našoj zemlji, već i u celom svetu, to je bila jedna od najpopularnijih naučnih disciplina, dok je danas uglavnom marginalizovana. Smatramo, međutim, da se *baš* iz tog razloga ne sme dozvoliti da ta disciplina zamre na našem fakultetu. Popularnost naučnih disciplina je u velikoj meri i stvar trenutne mode, a problemi u vezi s korišćenjem nuklearne energije i zaštitom od radijacija sigurno nisu nestali, niti će se to dogoditi u budućnosti. Jedna od misija našeg Fakulteta trebalo bi da bude upravo u tome da školuje stručnjake koji će izaći na kraj s tim problemima kada se za to ukaže potreba.

6. Odnos disciplina i „veština“

Kvalifikovani fizikohemičar mora da ima određena znanja koja bismo mogli nazvati „veštinama“. U to spada npr. poznavanje osnova elektronike, rad na određenim specifičnim instrumentima, programiranje i sl. Smatramo da odgovarajuće naučne discipline, koje se neguju na nekim drugim fakultetima, ne bi trebalo uvrštavati u spisak *predmeta* koji se slušaju na Fakultetu za fizičku hemiju. U prilog ovoj tezi govori i naše sopstveno iskustvo. U jednom od ranijih programa studija, postojao je npr. predmet Programiranje. Praksa je pokazala da su studenti Fizičke hemije imali dosta teškoća da polože odgovarajući ispit, a malo ko je u okviru tog kursa naučio da praktično programira. Ovakve stvari trebalo bi učiti u hodu, uz minimalno posvećivanje vremena teoriji.

7. Odnos predavanja i vežbi

Dosta široko rasprostranjen je pogrešan koncept da se naučne discipline dele na „teorijske“ (npr. kvantna hemija) i „eksperimentalne“ (npr. spektroskopija). *Svaka* naučna disciplina ima svoju teorijsku i eksperimentalnu komponentu (ponekad je potrebno proširiti pojam „eksperimenta“ na npr. rad sa računarima). Teorijskom delu discipline mesto je na predavanjima, eksperimentalnom na vežbama. Tako, nema mnogo smisla na predavanjima ulaziti u detalje Gajger-Milerovog brojača ili Harter-Drifildove krive, već takve jedinice treba ostaviti za rad na vežbama. Predavanja bi trebalo maksimalno osloboditi neneophodnih stvari. Mnoge jedinice (npr. Bor-Zomerfeldova teorija) su danas anahrone i mogle bi biti uključene samo u neki kurs Metodike (koji, uzgred rečeno, ne bi trebalo potcenjivati, niti svoditi isključivo na Metodiku *nastave*). Smatramo da bi trebalo izbegavati izvođenja koja nisu nezaobilazna i umesto toga više podvlačiti ključne rezultate koji iz njih slede. Ko od vas zna npr. da izvede Pitagorinu teoremu? Da li vam to smeta da je primenite? Neka izvođenja bi se mogla demonstrirati, ali ne bi trebalo zahtevati od studenata da ih na ispitu moraju reprodukovati (npr. izvođenja tablica karaktera u okviru teorije grupa).

8. Vežbe

Vežbe treba da prate predavanja i u doslovnom i u prenosnom smislu. Dakle, treba pretpostaviti da su odgovarajuću teorijsku podlogu studenti *već stekli* na predavanjima. Posao asistenta ne bi trebalo da bude da npr. proverava da li student zna kako α -čestice „tuneliraju“ kroz potencijalsku barijeru, već da li zna kako funkcioniše G-M brojač. Na vežbama bi trebalo da se rade i računski zadaci. Eksperimentalne vežbe morale bi biti strogo *individualne* (smatramo da je bolje da student/studentkinja uradi tri vežbe potpuno samostalno, nego šest vežbi zajedno s još jednim kolegom/koleginicom) i da su povezane s *rizikom* da ne budu uspešno izvedene (tj. treba tražiti od studenata da snose *odgovornost i posledice* za dobijene rezultate). Takođe je krajnje korisno kada se u toku rada vežbe uoči povezanost različitih disciplina fizičke hemije (npr. kinetike i radiohemije pri merenju radioaktivnog raspada).

9. Ispiti

Studentima bi trebalo pomoći da shvate da je njihov osnovni interes da *steknu određena znanja*, a da su ocene koje će dobiti na ispitu od neuporedivo manje važnosti. Smatramo da bi profesori trebalo da prave ogromnu razliku između studenata koji znaju i ne znaju, a relativno malu između onih koji bolje ili slabije znaju. Izraženo kroz ocene, da im je mnogo značajnije da ispravno odluče da li će neki student dobiti neprelaznu ili prelaznu ocenu, nego da li će prelazna ocena biti 6 ili 10. Jedan od mehanizama mogao bi biti ovakav: za svaki (ili bar većinu) predmet(a) moglo bi se sastaviti recimo 50 elementarnih pitanja. Ako se radi o Atomistici ona bi mogla biti tipa: 1. Od čega se sastoji atom (odgovor: od jezgra, u čiji sastav ulaze protoni i neutroni, i elektronskog omotača). 2. Šta su α -čestice (odgovor: jezgra atoma helijuma tj. skup od međusobno vezanih dva protona i dva neutrona). 3. Od čega zavisi promena talasne dužine elektronagmnetnog zračenja (kvanta) pri (Komptonovom) rasejanju na elektronu, itd. Da bi dobio prelaznu ocenu (6) student bi morao da ispravno odgovori na *svako* od tih 50 pitanja. Kao što nije pismen onaj koji zna 27 slova, tako u ovom slučaju student ne bi bio dovoljno osposobljen da bi išao dalje. Šta bi se time postiglo? Pa sa priličnom sigurnošću moglo bi se garantovati da takav student neće svojim neznanjem izazvati eksploziju u laboratoriji ili ugrožavaje svog zdravlja i zdravlja svojih kolega radioaktivnim zračenjem i da će, kada bude potrebno, biti u stanju da relativno lako popuni praznine u znanju. Za one koji su položili taj test organizovao bi se usmeni ispit na kojem bi se borili za ocene između 7 i 10. Pri tom bi se eventualno moglo dozvoliti da studenti pre odgovora na pitanje koriste knjige, sveske i ostala pomagala. Ideja je u tome, da nema svrhe terati studente da troše nedelje rada da bi popamtili stvari koje će im biti u glavi samo za vreme od pola sata dok traje ispit, a koje će zaboraviti čim se ispit završi. Konačno i u procesu istraživanja malo ko se oslanja na memoriju i radije će proveriti u knjizi čak i najjednostavniju formulu. Iskusan nastavnik bi trebalo da je u stanju da lako proceni da li student stvarno razume materiju koju izlaže. Međutim, ne treba „iskustvo“ smatrati sinonimom za „starost“. Pod sintagmom „iskusni nastavnik“ podrazumevamo nastavnika koji se dovoljno dugo aktivno i uspešno bavio *naukom*. Samo takav nastavnik ima mogućnosti da jednostavnim rečima, bez ulaženja u nepotrebne detalje, ali uz apsolutno izbegavanje površnosti i jeftinog populizma upozna studente sa *principima* discipline o kojoj govori, kao i da svoje časove iskoristi da jasno ukaže na uzajamnu povezanost i odnos „svoje“ i drugih naučnih disciplina. Ako je student shvatio i usvojio te principe i odnose, sve ostalo što spada u dati kurs je manje-više tehničko pitanje (izvođenje formula, rešavanje zadataka, eksperimentalni rad, korišćenje softvera itd.).

10. Input i output na Fakultetu za fizičku hemiju

Pre četrdesetak godina Fakultet za fizičku hemiju (tada pod nazivom „Grupa Fizička hemija na Prirodno-matematičkom fakultetu u Beogradu“) spadao je u najpopularnije fakultete u (tadašnjoj) Jugoslaviji. Među sto studenata koji su se upisivali na prvu godinu, ogromnu većinu činili su najbolji (odlični) učenici gimnazija i tehničkih škola prirodno-matematičke orijentacije. Njihov broj bi se neznatno osipao u toku studija i u vremenu od četiri do pet godina (studije su trajale minimalno osam semestara) Fakultet bi završilo recimo 70-80. Bar trećina njih bi nastavila obrazovanje i relativno brzo sticala zvanje doktora nauka, ne samo na matičnom fakultetu, već i na srodnim fakultetima u Zemlji (npr. na Fizici i Hemiji) i prestižnim univerzitetima u inostranstvu. Veliki broj istaknutih nastavnika na Fizičkom i Hemijskom fakultetu (koji su tokom vremena takođe menjali zvanična imena), kao i naučnih radnika u vodećim institutima (Instut za nuklearne nauke u Vinči, Institut za fiziku, Institut za hemiju tehnologiju i metalurgiju, Institut “Pupin” itd.) bili su (i jesu) bivši studenti Fizičke hemije.

Razlozi za ovako interesovanje za studije Fizičke hemije bili su višestruki. Prvo, u to vreme odnos društva prema prirodnim naukama uopšte, kako kod nas, tako i u svetu, bio je mnogo razumniji nego danas. Zatim, horizonti nastavnika i saradnika fakultetâ porodice prirodnih nauka bili su, izgleda, širi nego danas; preovladavala je svest o tome da matematičari, astronomi, fizičari, mehaničari, hemičari, biolozi, geografi i fizikohemičari ne treba da se osećaju kao konkurenti, već naprotiv, da je saradnja od koristi kako za njih, tako i za celo društvo. Primera radi, diplomirani fizikohemičari su u to vreme imali pravo da predaju i Fiziku i Hemiju u svim srednjim školama. Uporedite to sa današnjom situacijom kada se fizikohemičara osporava pravo da predaju Fiziku i Hemiju čak i u osnovnim školama, a fizičarima, npr. da budu nastavnici Matematike. Možda ključni razlog za popularnost Fizičke hemije predstavljala je upravo koncepcija studija. Uočavajući nedostatke planova i programa srodnih fakulteta (po našem mišljenju, isuviše pomerenom težište ka teorijskim disciplinama na Fizici, a empirijskim na Hemiji), profesori Fakulteta za fizičku hemiju pokušali su, i mislimo da možemo reći i uspeli, da koncipiraju i realizuju studije u kojima ni teorija ni eksperiment (ili, ako hoćete, fundamentalna i primenjena nauka) neće biti svedeni na podređenu ulogu, već će se uzajamno prožimati i ravnopravno dopunjavati. Najzad, Fakultet za fizičku hemiju imao je uvek u svom sastavu vrhunske naučnike i harizmatične profesore, od Miloja Stoilkovića, koji je deset godina pre prvog Balkanskog rata doktorirao u Ženevi (dakle, u vreme kada ni za Alberta Ajnštajna nije bilo mesta na susednom Univerzitetu u Cirihu!), da bi se posle toga vratio u svoju zemlju i osnovao Zavod za fizičku hemiju, preko nesuđenog nobelovca Pavla Savića do npr. Slobodana Macure, jednog od najistaknutijih saradnika dva (!) dobitnika Nobelove nagrade. Od Drugog svetskog rata pa sve do sada Fakultet je u svom sastavu uvek imao bar jednog člana Srpske akademije nauka i umetnosti.

Situacija se poslednjih godina drastično promenila. Kratkoviđa politika, ne samo kod nas, već i u svetu, učinila je da interesovanje za prirodne nauke već duže vreme kontinuirano opada. Rezultat toga je da Fakultet za fizičku hemiju (kao, uostalom i Fizički i Hemijski i druge srodne fakulteti) upisuju sve prosečniji učenici srednjih škola. Pa ipak, ohrabrujuće je da se u svakoj novoj generaciji nađe desetak briljantnih đaka, koji već kao tinejdžeri shvataju da ne može predugo da traje vreme u kojem dvadeset ekonomista i trideset menadžera treba da podele ono što jedan fizičar, hemičar ili fizikohemičar smisli i stvori. Paradoksalno je da i pored relativno malog broja odličnih đaka koje upisujemo poslednjih godina, studenti Fizičke hemije gotovo redovno bivaju uvršćeni u nekoliko najboljih studenata celog Beogradskog univerziteta.

Nerazumevanje društva za važnost prirodnih nauka, odnosno nebriga o sopstvenoj budućnosti, učinila je da veliki procenat najboljih studenata Fizičke hemije po završetku studija

odlazi u svet. Ova, sigurno neželjena, da ne kažemo za Zemlju tragična praksa, ima i jednu dobru stranu. Naši studenti sa lakoćom doktoriraju na univerzitetima kakvi su Oksford, Kembridž, Berkli, MIT, Berlin ili Beč. Piscu ovog teksta zaista nije poznat nijedan slučaj neuspeha nekog našeg studenta na bilo kom univerzitetu u inostranstvu. Naravno, ne želimo da kažemo da se to odnosi samo na studente Fizičke hemije. Činjenica je međutim, da su naši svršeni studenti podjednako uspešni kada nastave obrazovanje iz fizičke hemije, ili se preorijentišu na fiziku, hemiju, biologiju ili medicinu.

Suprotno široko rasprostranjenom mišljenju, pisac ovog teksta smatra da su studije Fizičke hemije relativno *lake*. One jesu *naporne*, zbog velikog broja prvenstveno eksperimentalnih vežbi, ali su sigurno znatno lakše od onih na bilo kojem od tehničkih fakulteta. Pritom mislimo, pre svega, na broj i težinu ispita u toku studija. Naravno, relativna „lakoća“ studija stoji u direktnoj korelaciji sa znanjem koje se u toku njih stekne. Nije, međutim, samo po sebi razumljivo da je ogromna količina znanja koje se skupi na nekim drugim fakultetima garancija za uspeh u budućem radu i životu svršenih studenata. Smatramo da bi se pri razmišljanju o ovoj temi moralo uzeti u obzir i iskustvo drugih zemalja, pogotovo onih znatno razvijenijih od naše. Činjenica je da su npr. u Nemačkoj, Francuskoj ili SAD studenti po pravilu mnogo manje opterećeni nego naši. Kreatori politike studiranja u tim zemljama su očigledno došli do zaključka da je korisnije upoznati studente sa *principima* na kojima se baziraju pojedine naučne discipline i razvijati kod njih sposobnost za *samostalan i kreativan* rad nego im puniti glavu neprojenim činjenicama. Zašto, npr. zahtevati od studenta da zna sve reakcije u kojima učestvuje mangan, ili da ume da ispiše rekurentne formule za Ležandrove polinome, kada mu *a)* to možda nikada neće trebati u životu; *b)* ako mu zatreba, otići će u biblioteku i pročitati o tome u odgovarajućem udžbeniku ili priručniku. Ne pretendujemo, naravno, da smo pametniji od naših kolega s drugih fakulteta koji imaju drugačije mišljenje, pogotovo jer smo potpuno svesni činjenice da samostalan i kreativan rad studenata pretpostavlja određenu materijalnu bazu, koja kod nas ne postoji. Štaviše, pisac ovog teksta je dugo vremena smatrao (i to mišljenje još nije sasvim promenio) da je Fakultet za fizičku hemiju nedopustivo „lak“, odnosno da se na njemu ne nauči dovoljno; međutim, spomenuti rezultati pokazuju da je ta ocena, izgleda, bila u velikoj meri pogrešna.