

Будућност физике

др Александар Богојевић

*Лабораторија за примену рачунара у науци
Институт за физику
Прегревица 118, 11080 Београд*

Апстракт. Дат је приказ и анализа неколико кључних параметара који могу да послуже као део рационалне основе за предвиђање стања у физици и сродним дисциплина током следећих 25 година.

УВОД

Сва предвиђања су комбинација два фактора: екстраполације уочених трендова, са једне стране, и убеђења, веровања и ограничења онога који врши предвиђања, са друге. Оба фактора неминовно доводе до занемаривања неког кључног елемента (или га уопште не видимо или нам се у садашњем тренутку не чини битним), што доводи до грешака у предикцијама. У случају дугорочних предвиђања (сто година или више) нагомилане грешке у потпуности обезвреде сва предвиђања. Краткорочна предвиђања (до пет година) могу сасвим пристојно да одраде посао, не само квалитативно него често и квантитативно. Средњорочна предвиђања, а такво ће нас овде интересовати, су негде на пола пута – грешке имају довољно времена да се нагомилају и да доведу до квантитативних разлика између предикција и стварности. Ипак, ако су довољно добро одрађена, средњорочна предвиђања могу дати добар квалитативни увид у будуће стање. Наш циљ је да размотримо кључне параметре на основу којих можемо кренути у рационално предвиђање стања у физици у следећих 25 година.

Ово предавање је првенствено намењено наставницима физике, но могло би бити интересантно и ширем еснафу. Са једне стране то је утицало на то колики је нагласак дат сваком појединачном параметру који ће се разматрати. Са друге стране, то објашњава зашто нас баш интересује временски период од 25 година. Наставници, наиме, не постоје себе ради већ ученика ради. Успех наставника физике се мери кроз будући успех њихових ученика, ма чиме се они бавили, и кроз будући успех физике као дисциплине. Садашњим гимназијалцима ће требати отприлике 25 година да се образују, оспособе за самостални рад, да стекну довољно искуства и дођу до кључне тачке у својој каријери. Дакле, ако се одлуче да се посвете физици или некој сродној науци, увид у стање током

следећих 25 година је за њих, а тиме и за њихове наставнике, од животне важности.

Четири века успеха

Већ четири века траје непрекинути ланац успеха у физици – след револуција у нашем разумевању фундаменталних и примењених закона. Овим је откривен огроман корпус знања који представља централни тријумф људске интелигенције – то је наша победа над мистеријом и незнањем. Што је још много важније, руку под руку са овим знањем развијен је и метод упита, анализа и провера који се и даље може примењивати за стицање нових знања:

- У 17. веку су постављени темељи физике. Галилео је засновао модеран експериментални метод, док је Њутн створио теоријску физику и поставио основе њеног математичког апарата.
- У 18. веку је у великој мери комплетиран класични математички апарат нове науке. Механика је постала прва научна дисциплина са чврсто заснованим математичко-теоријским формализмом. После механике је на ред дошла термодинамика. Последица овога је била индустријска револуција.
- 19. век је донео статистичку физику и ујединио електрицитет, магнетизам и оптику, чиме је комплетирано оно што данас зовемо класичном физиком. Ово је било доба генијалних проналазача (Ват, Фарадеј, Едисон, Бел, Тесла, Маркони, браћа Рајт, Рентген, Пупин) који су представљали само отелотворење великог захуктавања технолошких продора. У ово време су и постављени темељи образовног система који је омогућио знатно шири обухват популације.
- Почетком 20. века је дошло до неколико фундаменталних продора у нашем разумевању универзума - створене су релативистичка теорија, модерна теорија гравитација и квантна теорија. Упоредо су створени и темељи новог математичког апарата физике.
- Остатак 20. века је довео до вишеструког проширења обухвата физике кроз стапање релативистичке и квантне теорије, са једне стране, и статистичке и квантне теорије, са друге. Физика је створила кључне основе за револуционарне кораке прво у хемији па затим у биологији. Технолошке последице фундаменталних истраживања су прво довеле до атомског доба и до почетка истраживања свемира, затим до суперпроводности, ласера, до све бржих и јефтинијих рачунара, до глобалне комуникационе мреже. Крајем века су технолошки продори информатичке револуције довели до стварања новог, пост-индустријског друштва.

Овај непрекинути ланац нам даје огромну сигурност и улива нам поверење како у науку, тако и у крајње људске могућности. Током ових четири стотине година било је неколико тренутака у којима смо посумњали да долази до краја физике, да постоје границе онога што човек може разумети. Ти кључни тренуци сумње нису никад дуго трајали и после њих је увек долазило до великих и

неслућених продора. Последњи такав тренутак је био на самом крају 19. века. Тек неколико година касније дошло је до највећег помака у нашем разумевању фундаменталних закона универзума од времена Њутна и његове јабуке.

Наука презентована као догма

На овај или онај начин, свако од вас у публици је физичарски ентузијаста, па је и упознат са оним о чему је било речи у претходном делу. Многи су први пут заволели физику читајући (боље или лошије) научно-популарне књиге или биографије највећих научника. Ове књиге скоро увек поједностављују или чак искривљују стварни процес открића, но то није ни битно – циљ им и није да се нешто научи већ да се нешто заволи. Једина битна мана ових књига је што вам често дају слику наше науке не каква је она сада, већ каква је била пре 30 или 50 година.

А онда сте на факултету учили из (обично) још много застарелијих извора. Уместо узбудљиве авантуре креативности људског духа затекли сте нешто сасвим друго. Верујем да су се многи од вас због тога разочарали – надам се не у физику већ у начин како младе учимо физици. Ипак, један део колега све то није ни најмање погодило. Они који су успели да физику доживе као догму касније су одиграли кључну улогу у формирању наставних планова и програм за основне и средње школе, насталих пуким тривијализовањем онога што су учили на факултету. Запањујуће је лако узбудљиву ствар учинити досадном – само је потребно да је заправо не разумете. Једнако је лако и бацити кофу фарбе преко неког уметничког дела.

Међу наставницима има и пуно правих ентузијаста који су од катастрофалног лошег и нефлексибилног плана и програма успели да учине интересантно штиво, но они сами знају колико је то тежак посао. Они се заправо налазе у улози рестауратора који испод кичасте слике откривају право ремек дело. Наравно, ја се обраћам управо том делу публике.

Ако желите да ученицима предочите једну озбиљну област као што је физика, којој ће се они можда посветити као професији, онда их морате упознати са тим каква је она сада, а не само каква је била пре више деценија. Они ће тек тако моћи да стекну потребне (али свакако не и довољне) услове да процене у ком стању ће та река знања бити када они буду стасали да у њу загазе. Хоће ли загазити у пресахли поточић или ће их понети река која је надошла? Да би одговорили на ово питање није довољно само да знају да је тим коритом пре пар деценија тутњала помахнитала бујица. Зато нас интересује каква је будућност физике.

Наша генерација је до љубави према физици дошла и кроз научну фантастику и жао ми је што видим да младима то више није омиљено штиво. Но нисмо морали читати научну фантастику да би стекли готово религијско уверење у то да људски ум (посредством науке) нема ограничења – просто је такво време било. Хоћу да кажем да смо ми били прилично наивни (и свакако лошије информисани него данашња деца), и да смо као такви заиста веровали у то да људској инвентивности нема краја. Били смо у праву, но то нас не оправдава

пошто смо до тог закључка дошли на сасвим погрешан начин. Даћу вам пример који није из наше науке и који ће вам можда баш због тога бити јаснији.

Дарвинова теорија еволуције је један од највећих помака у нашем разумевању света у коме живимо – то је једно од ретких интелектуалних остварења појединца које се може равноправно мерити са остварењима највећих физичара као што су Њутн, Максвел и Ајнштајн. Није ни чудо што у Вестминстерској катедрали један поред другог вечно почивају, са једне стране Њутн, са друге стране Дарвин.

Еволуција не само да ради, него ради изванредно добро. Она се учи у нашим школама¹, што је добро, но учи се најчешће на сасвим погрешан начин – као догма. Марксизам (а сви смо се школовали у том друштву, па тиме и ваши ученици и даље живе у неком одјеку тог друштва) је религијску догму о постању заменио Дарвином, али презентованим као догмом – што је чиста перверзија. Иронија је да се заговорници веронауке боре против тако презентованог Дарвина. Чини ми се да су разлике између та два приступа много мање важне од оног што их повезује – заједнички (догматски) метод. Ово је разлог зашто сам својевремено, сасвим озбиљно, предлагао да се вероучитељи регрутују из редова професора марксизма. Предлог није прошао. Професори марксизма ипак нису остали без посла – постали су библиотекари, медијатекари и директори школа. А откуд вероучитељи? Као што и доликује, они се за то нису школовали већ су одједном спонтано настали, потпуно формиран и безгрешни.

Вратимо се сада нашој науци. И она се једнако лако може первертовати у догму, то се често и чини. Мислим да је изузетно важно физику приказати као узбудљиву и недовршену авантуру људског духа, као метод постављања и одговарања на питања – свакако не као богом дана готова знања. Такође је важно да схватите да сте ви и ваши ученици живели у сасвим другачијим временима, да вас различите ствари мотивишу. Ми смо одрастали гледајући како се човек спушта на Месец, како се зидају торњеви трговинског центра; ваши ученици одрастају гледајући како шатлови падају са неба и како терористи авионима, пуним путника, руше те исте торњеве. Но немојте плакати над њима као над неком изгубљеном генерацијом. Периодична масовна лудила кроз која свет пролази изузетно су важан фактор у образовању младих (оних који преживе и остану нормални). Успешно провлачење те деце између модерних верзија Сциле и Харибде није ништа друго него једна убрзана Дарвиновска селекција. Та деца би могла имати битне предности у односу на нас.

Скоро сви велики продори у физици су се десили у немирним временима – ми овде на Балкану чезнемо да нам буде досадно, но у таквим мирним и досадним временима се не стварају велика дела. Где би Њутн био да није било куге? Продори кванте теорије се нису десили у данашњој Немачкој већ у хаосу Вајмарске републике углављене између два светска рата.

¹ Чак и деценијски суноврат наших школа, чак и запањујуће одлуке неких министара просвете, чак и бујање примитивног и прилично необразованог клерикализма, све то ипак није успело да Дарвина избаци из наше школе.

Потенцијал је ту – на нама је да тај потенцијал уочимо код својих ученика и студената и помогнемо им да га развију. Круцијални критеријум успешности сваког наставника је да ли је у току каријере «продуковао» младу особу која је далеко боља од њега самог. Ако је просек за све наставнике мањи од један, онда имамо експоненцијално опадање, ако је већи од један имамо експоненцијални раст – једноставно зар не?

КРИЗА

Бити физичар значи имати ту срећу да се, кроз њихова дела, дружите са највећим умовима које је ова планета изродила. Бити физичар аутоматски подразумева и да се лично осећате делом вишевековног ланца успеха наше науке. Прославе као што је светска година физике су добре за наш еснаф, но оне могу потенцирати и неке лоше ствари: претерану окренутост ка прошлости, као и претерано самозадовољство стогодишњим успесима. Не смемо заборавити да физику нису стварали богови већ људи.

Чак и удаљеност од сто година чини да под именом Ајнштајн заправо не сагледавамо ту једну особу већ стотине истраживача широм света, који су у то време радили, који су једни на друге нераскидиво утицали. Ако то заборавимо онда, кујући великане у звезде, управо убеђујемо себе да им нисмо дорасли. У овом правцу лежи баук неоправданог песимизма (коме смо склони).

Са друге стране, неумерено расправљање о вековним успесима физике доводи до неоправданог оптимизма. Ако смо четири стотине година били успешни у откривању тајни природе, да ли је то икакав гарант наше будуће успешности? Ако сте сто пута имали срећу да прођете кроз црвено светло а да нико не страда, да ли то значи да тако можете да возите у недоглед?

Фокусирајући се на теме из наставне свакодневнице, претходни део је, између осталог, имао за циљ да вас нежно спусти из облака општег самозадовољства стогодишњим успесима физике. Сада сте спремнији да чујете не лепе жеље, већ оно због чега сте код доктора заправо и дошли – праву дијагнозу. Физика је тренутно у великој кризи. Та криза се очитује на неколико нивоа:

- Криза идеја у самој физици
- Криза односа физике и других наука
- Криза места физике у друштву
- Криза у финансирању физике
- Криза образовања у физици.

Криза је глобална, но постоје и интересантне разлике на нивоу појединачних земаља и на нивоу региона. Такође, већина ових проблема нису специфични само за физику већ и за већину (али не и све) научне и технолошке дисциплине.

Следећа три дела ће вам дати неколико података на основу којих се могу боље сагледати три различита аспекта ове кризе. На крају, имајте на уму да у свом

изворном значењу реч криза нема нужно негативну конотацију већ означава прекретницу или тачку нестабилности.

Финансирање физике

У последњих пола века читавом светском науком и технологијом доминирају научници и институције из САД. Посматрајмо неколико основних показатеља стања у коме се налази физика ове земље. Слика 1. показује експоненцијални раст физике у САД у периоду од сто година на примеру једног релевантног параметра – броја нових доктората из ове области. Експоненцијални раст углавном никог не чуди – толико је изражено мишљење о доминацији САД. Оно што заправо чуди је нагли прелазак из експоненцијалног раста у прилично изражено годишње осциловање око константне вредности. Критични тренутак се десио око 1975. године, дакле пре тридесет година.

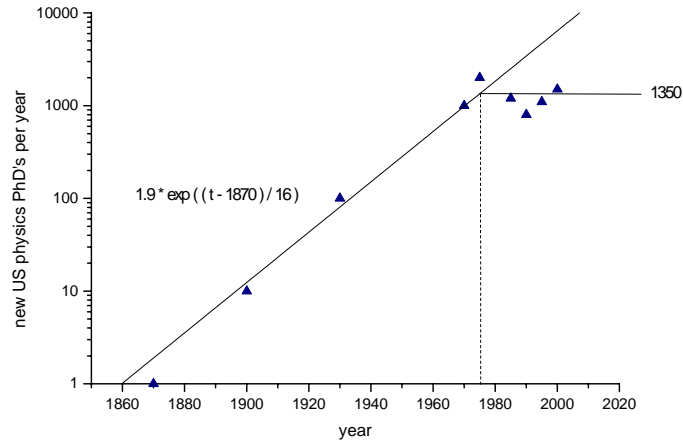
Оно што стоји иза експоненцијалног раста је критеријум успешности професора – у просеку (по свим областима) чак 15 доктораната по ментору! Јасно да је морало доћи до експоненцијалног раста. А онда се десио фазни прелаз, мада је горњи критеријум успешности и даље остао на снази. Покушајте да направите једноставни модел који узима у обзир обе ове чињенице. Није тешко. Видећете да је то могуће урадити само уз повећани увоз страних студената. Лако се може показати да се удео страних студената до сада стабилизовао (нпр. 48% доктората у САД из технолошких дисциплина иде страним држављанима, 43% доктората из информатичких наука, 47% из математике и 35% из физичких наука - проценат у самој физици је много већи, поготово у теоријској физици).

Покушајмо, међутим, да откријемо зашто је управо око 1975. дошло до престанка експоненцијалног раста. Да би ово разумели морамо се позабавити финансирањем науке у САД.

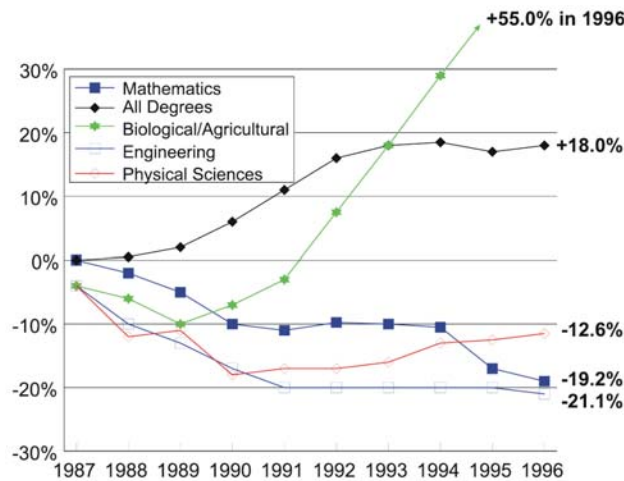
Слика 2. илуструје промене у броју дипломираних студената у неколико научних и технолошких дисциплина. У посматраном десетогодишњем периоду је у биологији и пољопривредним наукама дошло до пораста од 55% у броју диплома. Број дипломираних физичара у САД се у истом периоду смањио за 12.6%. Оно што можда највише зачуђује је то да се број дипломираних инжењера смањио за чак 21.1%. Разлог за ово лежи у револуционарним променама које се дешавају у биологији (посебно у генетици), како у фундаменталним тако и у примењеним истраживањима, због којих долази до одлива дела студената из других области². Но, више него у другим земљама, прави узрок за промене у САД је у парама. Биомедицинска истраживања веома брзо доносе практичну економску корист (кроз здравство, фармацеутску индустрију, индустрију хране), те зато и држава све већи проценат пара даје за ова истраживања. Слика 3. приказује удео неколико научних и технолошких

² Питам се колики број наставника физике код нас зна нешто о невероватно узбудљивој револуцији која је већ деценијама дешава у молекуларној биологији и генетици, колико су свесни кључног удела физичара у том процесу?

грана у БДП (брuto друштвеном производу) САД. Највећи процентни пад улагања бележи физика, док позитивни тренд бележи само биомедицина. Пре само пар деценија физика је имала неприкосновену предност над осталим наукама. Најважнији узрок промене њеног повлашћеног статуса је крај хладног рата. Ово се може видети и по томе из које области је био саветник за науку председника САД. До недавно је то место било резервисано за физичаре, а сад су на том месту представници биомедицинских наука.

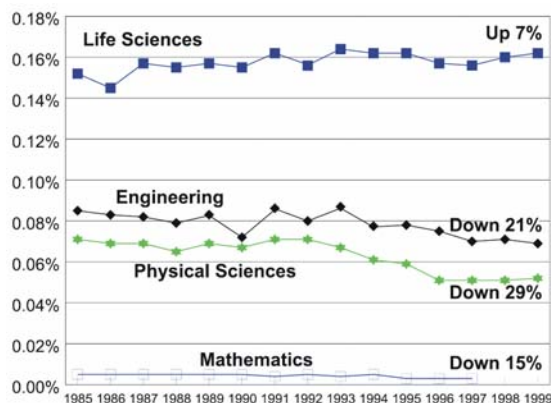


СЛИКА 1. Број доктората из физике у САД у једној години. Број је растао експоненцијално од 1870. (први докторат) до 1975. године. Након тога систем осцилује (са великим годишњим одступањима) око константне вредности.

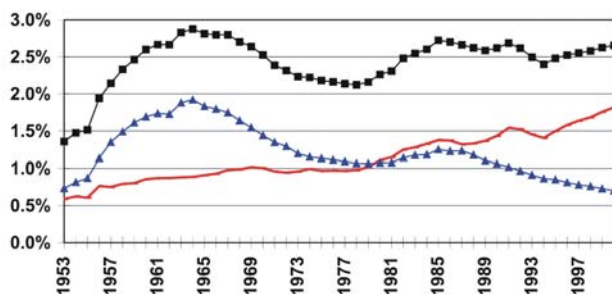


СЛИКА 2. Процентуална промена у броју диплома у САД из неколико научних и технолошких области

Један од интересантнијих детаља на слици 3 јесте да је раст улагања у биомедицинске науке релативно скроман. Ово су директна давања државе. За ову област (због директне комерцијалне примене) су још много важнија улагања привреде. Однос укупног државног улагања у истраживање и развој у САД и улагања привреде веома је интересантан и приказан је на слици 4. Једна важна последица стања које се види на овој слици јесте то да у САД долази до пораста улагања у примењена истраживања (која природно много више интересују индустрију) на рачун фундаменталних (које је обично више финансирала држава). Интересантно је да су давања индустрије (примењена истраживања) престижна давања државе (фундаментална истраживања) средином седамдесетих година – ето разлога за престанак експоненцијалног раста физике.



СЛИКА 3. Процент бруто друштвеног производа САД који се одваја за неколико научних и технолошких дисциплина (промене од 1985. до 1999.). Са изузетком медицинских и биолошких наука, које бележе благи пораст улагања, све остале дисциплине бележе пад улагања. У најгорем стању се налази физика са падом од 29% за 15 година.



СЛИКА 4. Процент БДП за истраживање и развој у САД од 1953. до 1997. године. Плаво су директна давања државе (константни пад од 1965.), црвено су давања индустрије (практично константни раст од 1953.), док је црно збир ове две криве.

САД и даље доминирају светском науком, али ни близу толико убедљиво као пре. Горњи показатељи су индикатори неких од интерних промена у САД које су довеле до овога. Важан додатни разлог је и појава озбиљне конкуренције – на пољу истраживања и развоја основну конкуренцију чини Европска Унија (ЕУ) и Јапан. Кина, Јужна Кореја и Индија постају све озбиљнији конкуренти САД у неким кључним технологијама, но за сада немају инфраструктуру образовних институција потребних да би јој били озбиљна конкуренција и у истарживању и развоју. Капацитет Кине је, међутим, такав да ће она у следећих 25 година сасвим сигурно постати озбиљан такмац и у овој области.

По неким параметрима ЕУ и даље јако заостаје за САД. На пример импакт фактор радова из ЕУ је знатно нижи него радова из САД. Но ово се мења, а и не важи за све научне подобласти. Новија истраживања која пореде квалитет научних институција у САД и ЕУ показују да је дошло до драстичног смањења доминације САД, поготово у неким областима које је ЕУ одредила као своје приоритете. Неки груби индикатори показују да је Европа одавно упоредива са Америком, превазишавши је по броју доктората из природних наука, као и броју научних радова. Компетитивност развојне политике ЕУ се најбоље види у скорашњем дуплирању издатака за науку (на 3% БДП), у великим напорима за стварање заједничког европског истраживачког простора (ERA), као и у прецизном дефинисању својих стратешких развојних циљева. Поређења ради, Србија на науку издваја 0.3% свог БДП.

Криза идеја

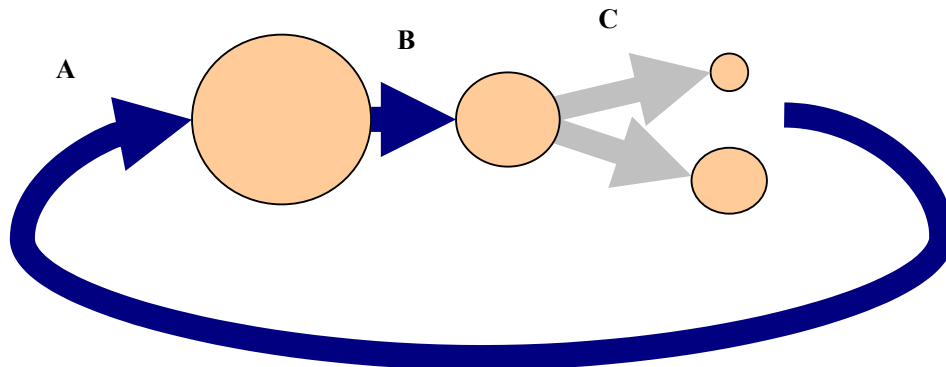
У свакодневном значењу парадокс је исказ који је истинит, али који изгледа као да се противи здравом разуму. У логици и математици парадокси су (наизглед) противуречни закључци изведени из (наизглед) валидних премиса. Парадокси обележавају грешке у нашем процесу размишљања и закључивања и као такви представљају изузетно корисну хеуристичку (спознајну) алатку која је веома допринела развоју модерне физике и математике.

Најплодније тло за парадоксе је свакако била физика са почетка двадесетог века: специјална теорија релативности (на пример, парадокс близанаца) и квантна механика (на пример, Шредингерова мачка). Физика се од тих (праисторијских) дана невероватно развила, но парадокса више готово да нема – зашто?

Парадокси настају када сукобите прецизни теоријски апарат са здравим разумом и интуицијом. Класична физика није ништа друго него прецизна кодификација наших непосредних искустава. Пре сто година смо ту интуицију покушали да пренесемо у микросвет и у свет честица које се брзо крећу. Испоставило се да нам је дотадашња интуиција у овим доменима сасвим заказала. Решењем насталих парадокса смо на крају стекли нову интуицију.

Данас је теорија у многим својим правцима отишла далеко од непосредног искуства – нема места за креативне конфликте какви су парадокси. Ова празнина наговештава један дугорочнији проблем – теорија је (за сада) успешна, али није

довела до процеса постепеног стварања нове интуиције везане за феномене које данас истражујемо.



СЛИКА 5. Производни процес у физици: Стварање нових модела (А), решавање једног дела тих модела (В), експериментална провера да ли модели описују природу (мањи део да, већи део не) (С). У том смислу, крајњи продукт овог процеса су они модели који исправно описују одређени део природе, док се остали одбацују. Но, дугорочније гледано, циљ физике је изградња нове интуиције. Та нова интуиција затим започиње нови циклус стварања модела.

Посматрајући слику 5. видимо да се добра времена у физици могу дефинисати као она у којима производни процес тече без застоја. У том смислу се налазимо у лошим временима, тј. постоји дисбаланс у неким деловима производног процеса. Илуструјмо ово на примеру физике елементарних честица. Мањак нове интуиције, о којој смо говорили, довео је до хиперинфлације компликованих, непроверивих модела (А). Основни разлог зашто нема нове интуиције је због суштинског застоја у тачки (В). Само су тривијални модели решиви; нема нових општих апроксимативних шема; мали је и број модел-зависних апроксимативних шема; нумеричке симулације су пуно обећавале али мало реализовале. Ова област, која је дуго била ударна песница развоја теоријске физике, сада је донекле посустала – делом као жртва пређашњих успеха, делом нереалних обећања, делом због драстичног пада финансирања фундаменталних истраживања до ког је дошло као непосредна последица краја хладног рата.

Ситуација није ништа боља ни на експерименталној страни елементарних честица. И у овој тачки је дошло до суштинског застоја (С). Све скупљи експерименти се фокусирају на сигурне резултате; нова опрема филтрира само оне мерне резултате за које унапред мислимо да су интересантни; нови, јефтинији приступи су недовољно финансирани.

У већој или мањој мери може се слична слика дати и за многе друге кључне истраживачке области у физици, мада свакако не и за све. Ипак, ако се са овим описом стања и можемо сложити онда он важи за неки просек, односно у свакој од ових области постоје и стотине истраживачких праваца који имају потенцијал да доведу до «отчепљења» једног или више застоја у производном процесу. Зато

свакако не треба отписивати опробане покретаче нових идеја у физици, као што су елементарне честице или кондензовано стање, поготово ако се има у виду да је, због ранијих успеха, у овим областима највећа концентрација истраживачког потенцијала.

Управо је дифузија истраживача из ових области недавно довела до великог проширења обухвата физике. Као што је у прошлом веку физика изнедрила модерну хемију, па затим молекуларну биологију и генетику, тако се данас рађају нове области као што су наука о мрежама (описи повезаности интернета, ширења болести, кондензовања планета, многих социјалних система, промена у морталитету и фертилитету) или еконофизика (револуција у модерним финансијама). У овим плодним областима се кују нове парадигме, нови математички апарати, нови приступи експериментима и нумеричким симулацијама. Гради се нова интуиција. Улажу се све веће паре. Не би било ни мало чудно кад би се у следећих неколико деценија продори управо у овим областима проширили и на друге делове физике³.

Прозор креативности

На почетку овог текста смо видели да је револуција у физици довела до индустријске револуције, а да је ова касније довела и до промене система образовања. образовање је веома инертан систем и оно се јако споро мења. Оно што ми зовемо модерно образовање заправо је индустријска револуција примењена на школе. Зашто нам је требало масовно образовање – зато што су нове фабрике имале потребу за велим бројем запослених са каквим-таквим образовањем. Зашто школе личе на фабрике, са наставницима и ученицима који се као по покретној траци крећу из једне хале у другу – зато што се тако млади навикавају на рад у фабричким условима. Отуд и школско звоно које их навикава на сменски рад, паралеле између школских и фабричких администрација, итд.

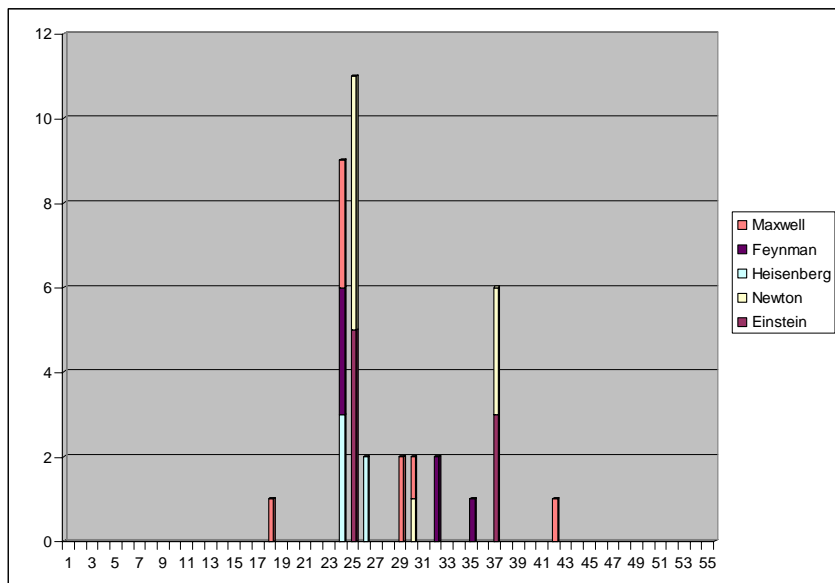
Свет је, међутим, негде крајем претходног века прешао из индустријског у пост-индустријско друштво. То се није десило само у развијеним земљама већ и код нас – и код нас је продаја услуга далеко важнији део економије од производње. Свуда, па и код нас, информациона револуција све више постаје замајац општег развоја али и брисања граница између држава. Образовни систем, како код нас тако и у свету, још се није прилагодио новим потребама. То је разлог зашто су људи широм света све више незадовољни образовањем. То је и основни разлог зашто није баш једноставно поправити наш систем – ни други нису у много бољем стању. Ново друштво тражи нови систем образовања, но још није јасно шта нам тачно треба. Ипак први обриси се виде: масовно укључивање популације у образовни систем остаје тековина, чак се мора и проширити. Неумитно се иде ка томе да и средње образовање буде обавезно.

³ О овоме деца у школи не уче, мада им је концептуално ближе, релевантније и интересантније од многих ствари које их терамо да уче.

Можда је мало поједностављено, но образовање индустријског доба (тзв. модерно образовање) је постигло обухват (тј. квантитет) на рачун пада квалитета. То је било управо оно што је индустрија и тражила. Но пост-индустријско друштво тражи образованије људе, спремне да уче и прилагођавају се новим условима. Уместо да образујемо ученика за успешно обављање неког посла целог свог живота ми сада морамо да га образујемо за неки посао који још и не постоји. Ми дакле не треба да га учимо подацима и шаблонима већ начину размишљања, методологији решавања компликованих проблема, смисаоном учењу. Јасно је да је место науке у овом новом образовном систему централно – не због потреба нових технологија, него зато што наука и није ништа друго него метод постављања и решавања сложених питања.

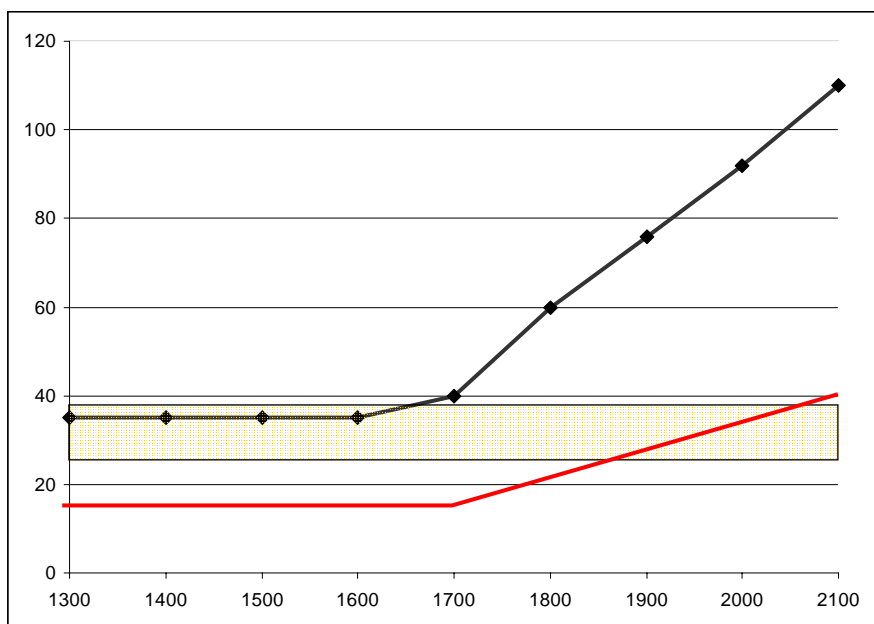
Разлика између индустријског и пост-индустријског образовања је као разлика између физике и начина како наш образовни систем (уз мали број часних изузетака) физику презентује нашим ученицима и студентима.

Вратимо се физици да би на једноставан начин видели да будући развој наше науке неумитно захтева промену система обуке физичара. Да би то урадили довољно је посматрати животе неколико кључних физичара и забележити тренутке када су дошли до својих открића. Скоро да је свеједно које научнике бирате. Лако ћете се уверити да већ вековима постоји нешто што би могли назвати прозором креативности: истраживачи до већине открића долазе у уском прозору између 24. и 39. година старости.



СЛИКА 6. Највећа открића шест великана физике. Открића су и квалитативно градирана од 1 до 6 према процени утицаја на физику. Од посматраних великана ван старосног прозора креативности [24,39] налази се само Максвел који је имао велика открића и у 18. и у 42. години (пред крај живота). Но и поред тога, његова највећа дела из електромагнетизма и статистичке механике су унутар овог прозора.

Узмимо дакле постојање овог прозора креативности као чињеницу, ма који био разлог за његово постојање. У сваком случају границе прозора су нешто што се веома споро мења, односно нешто што се може узети као константа бар у следећих неколико векова. Додајмо сад овоме и два кључна податка која се јесу мењала кроз векове: просечни људски век, односно старост која је означавала почетак самосталног истраживачког рада. Слика 7. нам показује да је тек од почетка осамнаестог века просечни људски век изашао ван прозора креативности. И пре тога је наравно пуно људи живело дуже од просека, но постоји велики број примера генијалних људи који су умрли на самом почетку фазе у којој се од њих очекивао највећи допринос.



СЛИКА 7. Однос прозора креативности, просечне смртности и минималне старости за самостални креативни рад кроз векове.

Развој науке, који је на крају за последицу имао и продужење људског века, имао је и другу последицу: да би постали самостални истраживачи, млади научници, морали су апсорбовати све више знања, овладати са све више вештина. Средином деветнаестог века ова крива самосталности је по први пут ушла унутар прозора креативности. Данашњи млади истраживачи у најбољем случају тек у раним тридесетим годинама завршавају своје докторате и последокторске студије. Данас већ не користимо две трећине прозора креативности. Ако се ништа не промени онда би крајем овог века дошли у ситуацију да смо у потпуности ван тог прозора. Дакле, ако ништа не променимо у начину образовања и усавршавања нове генерације истраживача, физика ће свакако доживети свој крај – неће више бити нових идеја.

Наравно, глад људског друштва за новим идејама је управо оно што ће горњу песимистичку екстраполацију учинити неважећом. Начин превазилажења проблема је јасан – ми смо заправо тек у последњих пар векова оштро временски одвојили образовање од креативног истраживачког рада. У мајсторским радионицама Ренесансе млади уметници, занатлије и научници су учили од својих мајстора радећи паралелно са њима. Физика 21. века, да би била успешна, мора се вратити оваквом флексибилном комбиновању научног шегртовања и континуалног образовања. Ово повлачи и стварање сасвим нових врста високошколских установа. Универзитети ће се тим променама здушно опирати, али они који се не прилагоде неће ни опстати – на крају се увек вратимо на Дарвина.

Подразумева се такође да ће све ово довести до суштинске реорганизације и свих осталих образовних институција. Живимо у узбудљивим временима – не само да су нам економија, друштвени систем и систем вредности у транзицији, већ је у транзицији и систем образовања.

Физика, и наука уопште, свакако ће играти кључну улогу у том процесу. Доминантни утицај наше науке на свет у коме живимо је претходних неколико векова био кроз технологију. Тај се утицај вероватно неће смањивати, но у 21. веку треба очекивати да ће још већи утицај наше науке управо бити у успостављању темеља једног суштински другачијег система образовања.

ЛИТЕРАТУРА

1. OECD, STI Scoreboard 2003. (<http://www.oecd.org>)
2. Mary L. Good, *The role of the US in 21st century S&T: leader, viable competitor or follower?* American Association for the Advancement of Science, yearbook 2002.
3. Edward F. Redish, *Who needs to learn physics in the 21st century and why?* Barcelona, 2000. (<http://www2.physics.umd.edu/~redish/>)
4. David Goodstein, *The coming revolution in physic education*, 2000. (<http://curie.umd.umich.edu/TeacherPrep/187.pdf>)
5. R. D. Shelton and Geoffrey M. Holdridge, *The US-EU race for leadership of science and technology: qualitative and quantitative indicators*, 2003. (<http://itri2.org/s/USEU/paper.pdf>)