

БУДУЋНОСТ ФИЗИКЕ

– криза идеја и излаз из кризе –

др Александар Богојевић
Лабораторија за примену рачунара у науци
Институт за физику

<http://scl.phy.bg.ac.yu/>

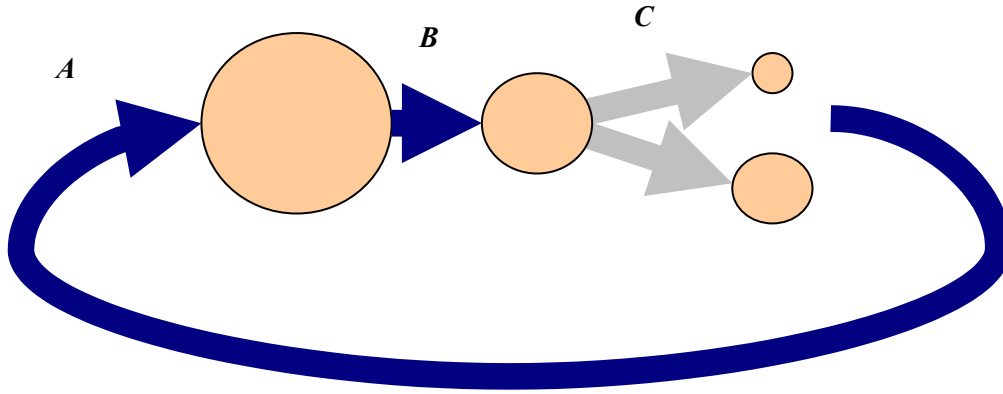
Криза идеја

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 1. Производни процес у физици: Стварање нових модела (*A*), решавање једног дела тих модела (*B*), експериментална провера да ли модели описују природу (мањи део да, већи део не) (*C*). 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 1. 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 преоцеса. Илуструјмо ово на примеру физике елементарних честица. Мањак нове интуиције, о којој смо говорили, довео је до хиперинфлације компликованих, непроверивих модела (*A*). Основни разлог зашто нема нове интуиције је због суштинског застоја у тачки (*B*). 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 (*C*). 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 физике¹.

Хајдемо сад језиком економије да покушамо да мало боље сагледамо један од важних узрочника садашње кризе идеја у физици – непримерени раст тзв. «велике» (тј. скупе) науке.

Цене, перформансе и научни ризик

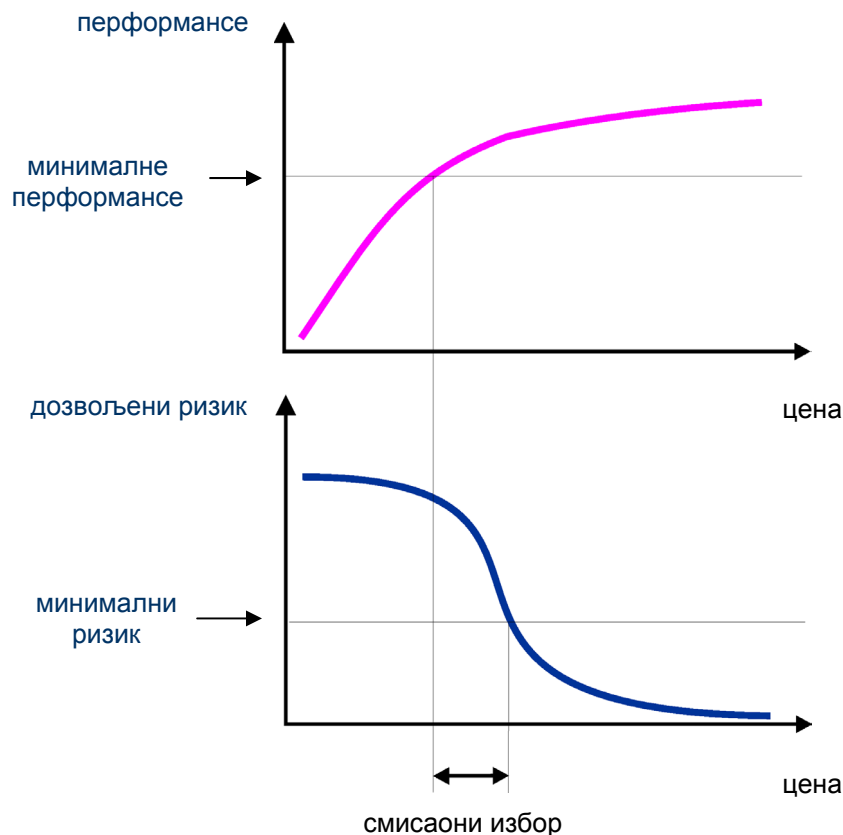
Посматраћемо сада један општи принцип који срећемо често у науци (како у експерименталним тако и у теоријским областима), а који је изузетно важан за рационално планирање будућег истраживачког рада. Илустроваћемо општи принцип на примеру набавке рачунарске опреме потребне да би се извршиле неке захтевне нумеричке симулације.

Свакако су вам важне перформансе опреме коју набављате (нпр. брзина рачунара, расположива меморија), но морате да водите рачуна и о цени. Горњи график на слици 2 илуструје типичну зависност перформансе од цене. Реч је о монотону растућој функцији која је у почетку добро апроксимирана правом линијом (тј. тангентом), но која са порастом цене све више подбацује у односу на ту линеарну зависност. У датом тренутку развоја области која вас интересује увек постоје и неке минималне перформансе које морате обезбедити да би уопште могли компетитивно да се бавите том врстом истраживања. Са графика видимо да ће перформансе бити веће од минималних ако смо у стању да обезбедимо одговарајућу цену за ту опрему. Ништа чудно.

Погледајмо сада другу (комплементарну) зависност приказану на доњем графикону слике 2. Овде пратимо нешто што би могли назвати дозвољени ризик научног истраживања. Научна истраживања се баве откривањем новог, а природа новог је да вам је оно у мањој или већој мери непознато. Ни једно истраживање, дакле, не може гарантовати успех. На против, да би дошли до нових продора морате бити спремни да се отиснете у непознатом правцу, да ризикујете. Оно што можете да процените, међутим, јесте колики сте степен ризика у стању да издржите. Степен дозвољеног ризика зависи од много чега (од појединачне склоности ризику, од тога

¹ О овоме деца у школи не уче, мада им је концептуално ближе, релевантније и интересантније од многих ствари које их терамо да уче.

да ли радите сами или у групи, итд.), но он свакако зависи и од цене (на пример цене опреме коју набављате, или од цене уложеног труда). Ако је опрема јевтина (или сте уложили тек неколико дан рада на неку вашу идеју) онда није велики проблем ако се не дође до жељених резултата. Насупрот томе, ако је опрема коју набављате изузетно скупа (или улажете више година марљивог рада) онда нагло пада ниво за вас дозвољеног ризика. Типични изглед ове зависности је приказан на доњем графикону слике 2. Приметимо да свако научно истраживање подразумева спремност истраживача на неки минимални ризик. Преведено на цену, ово значи постојање максималне цене. Ако та опрема (или та идеја) превазилази максималну цену онда нећете бити у стању да обезбедите минимални ниво ризика који је потребан да би дошли до нових продора².



СЛИКА 2. Типичне зависности перформансе и дозвољеног ризика од цене

Ова два графикона нам показују да под одређеним условима постоји оптимални прозори цена платити који истовремено обезбеђују и довољно велике перформансе и довољно велики дозвољени ризик. У том прозору цена се креће оно што би могли звати рационалном стратегијом за бављење научним радом у датој области.

² На пример, CERN и експерименти у њему су екстремни примери велике, односно скупе науке. Тамо се све мери милијардама и десетинама милијарди евра. Кад неко улаже десетине милијарди евра у нешто онда неуспех није дозвољен. Дакле, ја не бих очекивао ништа спектакуларно ново да изађе из CERN-а, већ само потврду очекиваног. Мада у CERN-у има пуно физичара он не постоји ради физике већ ради технолошког развоја Европе. Скупа наука је рационални избор за технолошки развој богатих, но не нужно и за развој науке.

Ова анализа нам заправо даје три класе рационалних стратегија. Ако нисте у стању да обезбедите минималне перформансе онда је за вас рационално решење да заправо ништа не улажете. Ово «сиротињско решење» је стабилно – сиротиња остаје сиротиња (и само тривијално учествује у развоју како науке тако и технологије). Са друге стране, постоји и «богаташко решење». Ако лако можете да обезбедите минималне перформансе онда неки ваш такмац и сам прилично лако може себи обезбедити још веће перформансе и избацити вас из такмичења. Последица овога је да је за вас заправо једино рационално решење да улажете највише што можете. И ово је стабилно решење – богати остају богати. Ово решење није оптимално за развој науке јер вам не омогућава да правите ризике, но одлично је за развој технологије. Треће решење, једино рационално са становишта науке, би могли звати «решењем паметних». Постојање овог решења зависи од односа горње две криве (могуће је да нема решења које истовремено задовољава да су и ризик и перформансе веће од минималних, но, ако такво решење постоји, оно је оптимално са становишта науке. Ово је уједно и једино решење које није стабилно – ако га добро користите придружићете се клубу богатих, а ако га лоше користите клубу сиромашних. Сама по себи памет није гарант успеха. Треће решење је за нас могуће, а свакако и пожељно. Уз пуно упорности и рада тај избор нам даје шансу да нетривијално допринесемо даљем развоју физике.

Ми смо на овим просторима темпераментни и из нас чешће говоре емоције, убеђења и лепе жеље, а ређе рационална анализа. У том смислу сматрамо да смо екстремно талентовани, несхваћени. То мислимо парним данима, а непарним сматрамо да ништа не вредимо, да смо лењи и прости... Пређашња анализа је покушај да се рационално размишља о месту које наша наука може да заузме у свету. Закључак који се намеће је да за нас не само да има наде, већ да у неким областима мале земље као што је наша могу имати предност (под условом да се у међувремену економски још више не срозамо). Многима од вас ће овај исказ звучати као својеврсан парадокс, но чини се да заиста постоји потенцијал за овакав срећни сценарио. Но, да би до њега стварно и дошло морамо бити спремни да пуно радимо и морамо изузетно пажљиво бирати области ка којима се треба усредсредити. Морамо се питати не где је био продор пре 100 година, већ у којим деловима физике треба очекивати продор у следећих пар деценија, а у којим од ових можемо ми имати компаративне предности. Зато смо се пре неколико бројева Младог физичара и отиснули на ово наше путовање у будућност физике.

Физика и образовање

На почетку ове серије текстова 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 који се 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 су се тако млади навикавали 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. Но масовност више није довољна.

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. Пост-индустријско друштво, међутим, 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.

Образовни систем данас нас учи знањима и вештинама. Но ко нас учи креативности? Шта је то прозор креативности и има ли физика крај? Овим ћемо се позабавити на следећој станици започетог путовања у будућност.