

# БУДУЋНОСТ ФИЗИКЕ

– рационално предвиђање будућности –

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

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

Физика се бави предвиђањем будућности. Имате неко почетно стање система, убаците га у одговарајуће једначине кретања, и (ако умете да решите те једначине) као резултат добијете стање у коме ће се систем наћи у неком будућем тренутку. Кад је реч о једноставним системима онда из неких општих претпоставки често знамо да одредимо тачне једначине кретања. Код компликованијих система се често дешава или да једначине знамо само приближно тачно да одредимо, или да знамо само приближно тачно да их решимо. Ово све утиче и на квалитет нашег предвиђања будућег стања система. Као пример овога можемо да узмемо кретање Месеца око Земље. Знамо тачно да одредимо положај Месеца у почетном тренутку. Такође знамо и једначине кретања – не зато што је реч о једноставном систему већ зато што смо научили да сложене системе разложимо на низове једноставних међудејстава која умете извести из општих принципа. Примарни утицај на кретање Месеца има гравитационо привлачење Земље. Имајући у виду да Земља и Месец нису ни тачке ни савршено сферно симетрични објекти долазимо до тога да поред уобичајене привлачне силе  $G \frac{M_1 M_2}{r^2}$  постоје и додатне компликације (плимске силе). Но на Месец утичу и други објекти као што је Сунце (много масивније од Земље али и много удаљеније те му је утицај на Месец мањи од утицаја Земље) и друге планете (далеко мањи утицаји). Наоружани почетним условима и једначинама кретања можемо храбро кренути у предвиђање будућег положаја Месеца. Нажалост, једначине кретања умете да решите само приближно.

Ако вас интересује где ће Месец бити кроз пар недеља (рецимо да хоћете да слетите на Месец), онда нема проблема. Краткорочна предвиђања будућности лако одрађујемо. Можда вас, из неког разлога, интересује тачан положај нашег природног сателита кроз неколико деценија? Сад већ морамо мало више да се потрудимо (реч је о средњорочном предвиђању), но и то можемо да одрадимо. Људима је за овакву прогнозу некада требало више година напорног рада, но данас, уз помоћ рачунара, то више није тако тежак задатак. Но шта ако вам је јако битно да сазнате где ће Месец бити кроз милијарду година? Жалим, али мислим да нисте ни приближно свесни колико тежак захтев постављате. Ма шта вам дуги причали, будућност од нас није скривена (иначе би физичари остали без посла). Но такође морате бити свесни важења једног општег правила – што даље желите да завирите у будућност то ће вам бити теже (тј. она ће изгледати магловитија).

Будућност је велики изазов. Зато физичари нису једини који се баве предвиђањима. После векова успеха науке и даље је око нас присутно мноштво врста погледа у будућност:

1. Гатање и митско веровање у судбину.
2. Предвиђања која нису утемељена на познавању почетних услова. Сијасет примера овога можете наћи у нашој свакодневници. На пример просветне власт које желе да темељно реформишу наш образовни систем а које при томе не знају готово ништа о стању у коме се тај систем налази, о проблемима који га прате, о његовим добрим странама, о постојећим људским и другим ресурсима са којим тај систем располаже<sup>1</sup>.
3. Предвиђања базирана на тривијаним екстраполацијама претходног стања. Ово многи од нас примењују у свакодневном животу. Ево једноставног примера. Сто пута сте без икаквих последица прошли колима кроз црвено светло, дакле, то можете да наставите и даље да радите.
4. Предвиђања базирана на озбиљнијим екстраполацијама и уочавању трендова. Мада ништа мање ненаучна од предходне три врсте прорицања будућности, ова врста предикција се формално одева плаштом научног. Обилато се користи статистичким методом но без дубљег разумевања суштине тог метода. Пример овога су већине економских предикција, не само код нас него у целом свету. Безброј примера овога се може наћи у друштвеним наукама<sup>2</sup> или у медицини<sup>3</sup>.
5. Рационална предвиђања будућности. За овај вид предвиђања вам треба како познавање почетних услова тако и разумевање (макар у нај грубљим оквирима) једначина кретања, тј. узрочно-последичних веза између кључних делова система који се посматра. Дакле, за рационално предвиђање будућности вам требају физичари.

Физика није, као што вас најчешће уче, скуп (наизглед) неповезаних знања о неким тамо чудним системима (магнети, стрме равни, струјна кола, гасови, атоми, звезде) који су вама лично неки мање а неки више интересантни. Физика је метод рационалног предвиђања будућности. Тај се метод може применити на све системе, и на оне које уобичајено сматрамо делом физике, и на оне који су делови неких других наука (од којих су многе заправо настале из физике), и на оне које су наизглед далеко не само од

---

<sup>1</sup> То смо имали пре само неколико година. Сада имамо просветне власти које не желе ништа да мењају. Мада имплицитно, и они свој став темеље на једној врсти предвиђања будућности. Овај тип предвиђања се такође не ослања на познавање стања система, но он пре припада категорији гатања и митског веровања у судбину: «наше образовање је најбоље на свету, ми смо најбољи на свету, дакле ништа не треба мењати»).

<sup>2</sup> Пример овога је предавање једног нашег уваженог социолога на коме је он инсистирао да (у социологији) истраживачки узорци не смеју бити сувише велики јер грешка расте са бројем узорака. У праву је, апсолутна грешка заиста расте (као корен од броја узорака), но релативна грешка опада (један са корен од броја узорака) – то је управо разлог зашто су сва статистичка испитивања то прецизнија што је број узорака већи. Чак и ове процене зависности грешке од броја узорака важе само у случају да је број узорака довољно велики.

<sup>3</sup> Пре неколико година ме је један професор медицине, кад је сазнао да сам физичар, сасвим озбиљно питао колико тачака је заправо потребно да би се одредила једна крива. Рекао сам му да треба безброј тачака, но онда сам схватио да он под појмом крива заправо само сматра праву линију. Бунило га је то што је у једном познатом страном часопису видео графикон истраживања са три тачке и једном правом линијом. Правилно преведено, његово питање је сада имало смисла. Како провући «најбољу» праву линију кроз више од две тачке? Заstrasујуће је да помислите да нас лече људи који то не знају, но прави шок је био кад сам у том часопису видео шта су страни истраживачи урадили – провукли су праву кроз прву и другу тачку и онда речима образложили зашто трећу експерименталну тачку и не треба узети у обзир. На основу тог истраживања се одређује оптимална доза једног прилично озбиљног лека.

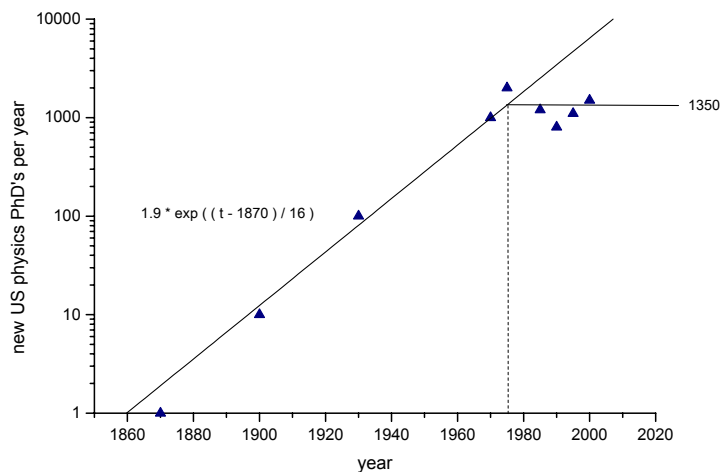
физике него и од осталих природних наука. Можда је најинтересантније тај општи метод рационалног приступа будућности управо применити на саму физику као научну дисциплину.

У прошлом броју смо се отиснули управо на једно такво путовање чији је циљ био да покушамо да боље разумемо физику у наредних 25 година. На том путовању ћемо се користити рационалним приступом коме нас учи физика: познавањем почетних услова, разликовањем битног од небитног, уочавањем узрочно-последичних веза, свођењем тих веза на низ једноставних и разумљивих међудејстава, утемељеном проценом могућих извора грешака у нашим предикцијама.

Пре но што и започнемо путовање морамо бар угрубо сагледати неке основне податке. Поћићемо од основних показатеља од којих полазе владе и стручна друштва развијених земаља при планирању свог научног развоја. Највише ћемо се бавити стањем у САД и ЕУ. Два су разлога за то. Први је да су ово друштва која почивају на информацијама која су јавно доступна. На Интернету можете ћете наћи све што вас може интересовати о САД (како информације тако и анализе). Наравно, није се лако снаћи у том мору информација. Да би издвојили праве информације и праве анализе, свакако да морате доста да знате о том што претражујете. И тада ће вам требати пуно упорности, но на крају ћете доћи до тражених информација. ЕУ ту и даље битно заостаје у односу на САД, но чини огромне напоре да надокнади тај информатички јаз. Остатак света (коме и ми још увек припадамо) се не темељи (сем декларативно) на јавној доступности информација. То је вероватно основни разлог зашто је «остатак света» (мада чини 90% популације наше планете) далеко слабије развијен. Било како било, изузетно је тешко доћи до информација (поготово до проверених информација) о стању физике ван САД и ЕУ. Као што смо видели, без познавања садашњег стања и стања у прошлости нема ни основа за рационалну анализу будућег стања. Ово важи колико за физику толико и за предикције у било којој другој области. Плашећи се јавне доступности информација «остатак света» заправо себи онемогућава поглед у будућност. Одсечен од будућности не остаје му ништа друго него да се бави непотребним величањем или чак улепшавањем своје прошлости.

Други разлог зашто са упознавањем будућности физике крећемо управо од САД је то што се у последњих шест или седам деценија управо ту налазио центар развоја науке и технологије. Пре тога се тај центар налазио у Европи, но то није разлог зашто нам је за предвиђање следећих 25 година развоја физике битна и ЕУ. Европска Унија нас интересује зато што је изузетно озбиљно ушла у процес поновног преузимања примата у научном и технолошком развоју (самим тим и у физици), и што постоје сасвим озбиљне индикације да ће у посматраном периоду успети да преузме тај примат. Ништа мање важан разлог зашто нас судбина физике у ЕУ интересује је и то што ћемо у посматраном периоду и ми бити део те уније. То је један од основних разлога зашто треба да се бавимо будућношћу физике – да би што успешније позиционирали нашу науку у оквиру нечега што се већ званично зове европски истраживачки простор (ERA – European Research Area).

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<sup>4</sup>. Оно што је заправо чудно на овом графикону 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. Изузетно је интересантно да скоро нико није био свестан да се догодио овај «фазни прелаз», по најмање сами физичари.



**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.

Оно што стоји иза експоненцијалног раста је критеријум успешности професора – у просеку (по свим научним областима) чак 15 доктораната по ментору! Јасно је да је морало доћи до експоненцијалног раста. А онда, мада је критични тренутак дошао и прошао, наведени критеријум успешности је и даље остао на снази – зато дуго нисмо приметили да се ишта променило.

Покушајмо да размислимо шта је чудно у понашању описаном на претходној слици. Експоненцијални раст није чудан. Стагнација такође није чудна. Чудно је што је систем тако нагло прешао из једног стања у друго. Важно је разумети шта је довело до те промене. Чудно је и то како можемо истовремено имати стагнацију и исте оне критеријуме успешности који су довели до експоненцијалног раста. Мада је ово важан индикатор стања физике у САД, да би га разумели, морамо га довести у везу са другим

<sup>4</sup> Често се бег научника (поготово Јевреја) из Хитлерове Немачке узима као основни разлог за успон физике у САД. Ово је једна од уобичајених тривијализација. Одлив мозга до кога је дошло је свакако помогао науци у САД, но само зато што је пре тога домаћа наука имала већ више од шест деценија експоненцијалног раста (слика 1). Бежећи пред Хитлером великани физике су управо дошли на тада најплодније тло за науку. Затекли су тамо врхунске стручњаке, али и огроман број динамичним младих људи фокусираних на науку. Спој искуства једних и динамизма других је учинио да је физика читавог двадесетог века била у стању континуалне револуције идеја.

важним параметрима. Наука, на крају крајева, није ништа друго него покушај налажења таквих веза.

\* \* \*

Ипак, можда је баш сада добар тренутак да мало предахнемо. Наука треба да буде узбудљива, изазовна, а не да замара. Надам се да сам вас довољно заинтересовао да ми се придружите и следећи пут, управо на овом месту, на нашем започетом путовању у будућност физике. Дотле имате времена да мало размислите како би могли да објасните чудно понашање са претходне слике. Није тако тешко – видећете већ у следећем броју.