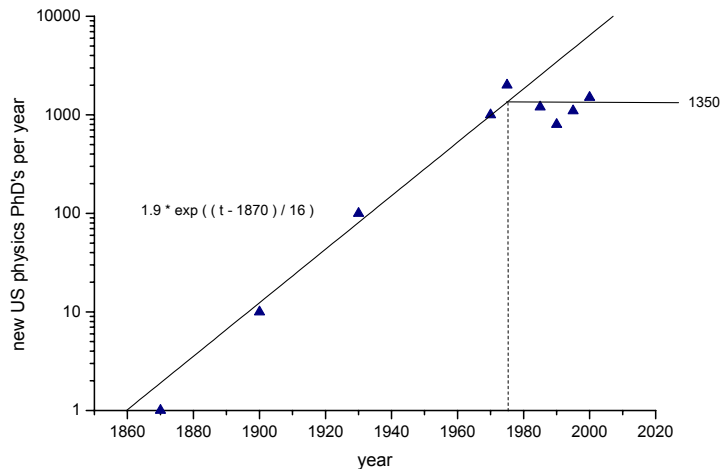


БУДУЋНОСТ ФИЗИКЕ – раст физике у САД –

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

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

Налазимо се на трећој станици заједничког путовања чији је циљ стварање основе за предвиђање стања у коме ће се наћи физика у следећих 25 година. Физика се управо и бави рационалним предвиђањем будућности – све што ми желимо је да тај моћни метод применимо на саму нашу област. Први предуслов за рационално предвиђање будућности јесте познавање почетних услова. У прошлом броју смо се срели са интересантном феноменологијом везаном за раст физике у САД у претходних сто и нешто година. Раст наше области можемо процењивати на мноштво начина, но ми смо изабрали да посматрамо један изузетно једноставан показатељ овог раста: временску зависност броја нових доктората из физике добијених у институцијама у САД.

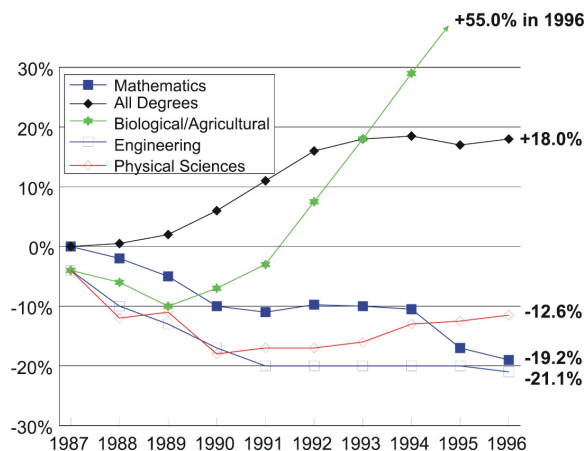


СЛИКА 1. Број доктората из физике у САД у једној години. Број је растао експоненцијално од 1870. (први докторат) до 1975. године. Након тога систем осцилује (са великим годишњим одступањима) око константне вредности.

Понашање које је приказано на Слици 1. је изузетно интересно и састоји се од експоненцијалног раста у периоду од нешто више од сто година, те у наглom преласку из овог режима у фазу стагнације у којој се налази већ три деценије. Већ смо приметили да су експоненцијални раст и стагнација сасвим уобичајена понашања. Оно што је интересно је да разумемо како је (и зашто) систем тако брзо прешао из једног у други режим.

Као што смо видели, експоненцијални раст је био директна последица критеријума успешности професора. Просек по свим научним областима је био 15 доктораната по ментору. Овај критеријум је био на снази од 1860. године и довео је до хиљадутог

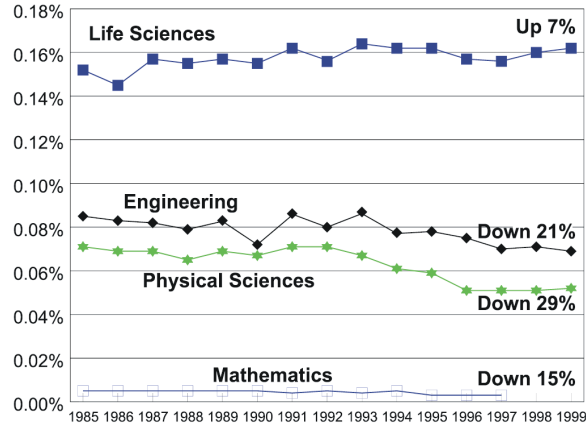
повећања броја физичара у САД. Међутим, оно што је јако интересно је да је тај критеријум успешности и даље на снази! Шта је дакле довело до критичне промене понашања 1975. године? Да би ово разумели морамо посматрати ширу палету параметара стања физике (али и других, блиских дисциплина).



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

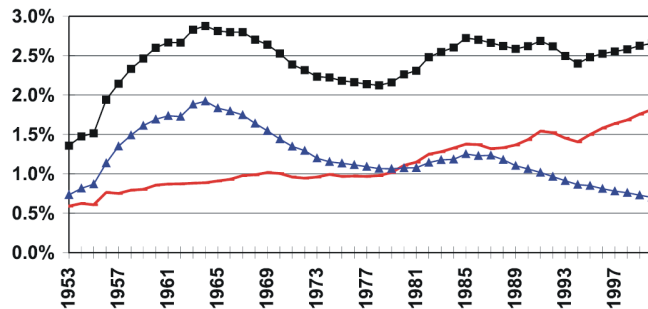
Слика 2. илуструје промене у броју дипломираних студената у неколико научних и технолошких дисциплина. У посматраном десетогодишњем периоду је у биологији и пољопривредним наукама дошло до пораста од 55% у броју диплома. Број дипломираних физичара у САД се у истом периоду смањило за 12.6%. Оно што можда највише зачуђује је то да се број дипломираних инжењера смањило 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 области¹. Више него у другим земљама, прави узрок за промене у САД је у парама. Биомедицинска истраживања веома брзо доносе практичну економску корист (кроз здравство, фармацевтску индустрију, индустрију хране), те зато и држава све већи проценат пара даје за ова истраживања. Слика 3. приказује удео неколико научних и технолошких 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 свакако крај хладног рата. Ово се може видети и по томе из које области је био саветник за науку председника САД. До недавно је то престижно место било резервисано за физичаре, а сад су на том месту представници биомедицинских наука.

¹ Очекујем да су читаоци овог часописа ентузијастички за физику. Ипак, питам се колико заправо знате о револуционарним променама које се дешавају у неким другим наукама. Плашим се да већина вас о свему томе зна врло мало. Ако је у нечему наш образовни систем слаб то је у показивању смисаоних веза између различитих (чак и блиских) дисциплина. Можете постати добар физичар-занатлија незнајући ништа о узбудљивим догађањима у генетици или астрономији. Убеђен сам, међутим, да на овај начин не можете постати креативни истраживачи – ствараоци нових идеја.



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.

Један од интересантнијих детаља на Слици 3 јесте да је раст улагања у био-медицинске 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.



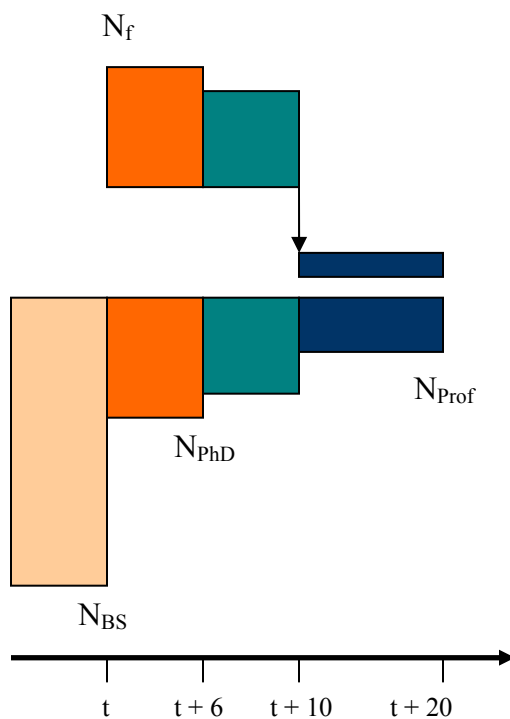
СЛИКА 4. Процент БДП за истраживање и развој у САД од 1953. до 1997. године. Плаво су директна давања државе (константни пад од 1965.), црвено су давања индустрије (практично константни раст од 1953.), док је црно збир ове две криве.

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.

Осветлили смо неке битне параметре везане за стање у физици и блиским наукама. Шта нам је сад чинити? Могли би покушати да направимо екстраполације неких од ових трендова на следећих 25 година – то је оно што већина ради, но то свакако не би била физика, то свакако не би био рационално заснован поглед у будућност. Могли су тако

1970. године у САД екстраполирати Слика 1 и доћи до закључка да ће физика у тој земљи вечно експоненцијално расти. Многи су то и чинили, мада су знали да коначни системи не могу вечно имати експоненцијални раст. Они који су се бавили таквим екстраполацијама су у потпуности погрешили у својим предвиђањима.

Да би оправдали то да смо физичари није довољно да се бавимо нумерологијом. Морамо бар покушати разумети узрочно-последичне везе које повезују феномене о којима говоримо. Један од најважнијих индикатора тренутног стања у науци и технологији у САД је број страних студената на последипломским и последокторским студијама у тој земљи. Позабавићемо се овом проблематиком тако што ћемо конструисати један једноставан модел који даје добро квалитативно слагање са знатно компликованијом стварношћу – то је, на крају, оно што физичари најбоље и раде.



СЛИКА 5. Шематски приказ поједностављеног модела универзитетског образовања у САД. Са лева на десно блокови означавају додипломске, после дипломске, после докторске студије и професуру. Доњи ред блокова су грађани САД, гроњи су странци. Мањи број странаца добија стално запослење, а након тога (у већини случајева) они постају грађани САД (стрелица). Једноставности ради узето је да додипломске студије трају 4, последипломске 6, последокторске 4 године и да онда 10 година по добијању запослења професор произведе 15 нових докторских студената. 15 је просечан број доктораната по професору у САД у току целе њихове каријере – овде смо увели поједностављење да се сви они произведу у докторе у једној јединој години (на средини каријере њиховог ментора). Број физичара који дипломирају у САД у одређеној години је означен са N_{BS} , број страних студента који уђу у систем је N_f , број доктората из физике је N_{PhD} , док N_{Prof} означава број професора.

Слика 5. приказује основе поједностављеног модела који ћемо сада разматрати. Са α ћемо означити проценат дипломираних физичара који оду на последипломске студије, са β проценат доктора који оду на последокторске студије. γ означава проценат грађана САД који након докторских студија добијају професуру. Тај проценат за странце је

битно мањи и означимо га са δ . Горња шема даје и сликовити приказ релативних односа ових бројева. Очигледно важе следеће релације:

$$N_{\text{Prof}}(t+20) = \alpha\beta\gamma N_{\text{BS}}(t) + \beta\delta N_f(t), \quad (1)$$

$$N_{\text{PhD}}(t+6) = \alpha N_{\text{BS}}(t) + N_f(t). \quad (2)$$

Такође, важан критеријум успешности професора је да има пуно доктораната. Узимајући да сваки професор има 15 (просечни број у току каријере) добијамо:

$$15 N_{\text{Prof}}(t) = N_{\text{PhD}}(t). \quad (3)$$

Једноставном заменом на основу овога добијамо:

$$\beta(\gamma-\delta) N_f(t) = \beta\gamma N_{\text{PhD}}(t+6) - 1/15 N_{\text{PhD}}(t+20). \quad (4)$$

За $t < t^*$ (тј. док важи експоненцијални режим приказан на Слици 1) није било страних студената. Одавде следи да је $N_{\text{PhD}}(t) = A \exp(\lambda t)$, као и да је $\exp(14\lambda) = 15 \beta\gamma$. Када пређемо t^* други члан на десној страни постаје константа а први и даље експоненцијално расте, те зато и број потребних страних студената расте експоненцијално. Када пређемо t^*+14 онда су оба фактора на десној страни константе, па тиме и број потребних страних студената постаје константан.

Предикција овог поједностављеног модела је да је 1975. систем почео да прима стране студенте и да је њихов број растао експоненцијално до 1989. када је достигао константну вредност. Оно што стоји иза ове динамике је чињеница да је критеријум успешности професора (15 доктораната по ментору) остао на снази и по престанку експоненцијалног раста физике. Једини начин да ове две ствари остану на снази је био увоз страних студената. Овакво стање је прилично неприродно и свакако није дугорочно одрживо. Из једначине (4) следи да оно не би ни било могуће да систем запошљавања не фаворизује грађане САД (тј. $\gamma > \delta$).

Овакво стање доводи САД у потенцијално неугодну ситуацију. Они сваке године морају да образују велики број страних стручњака које неће запослити у области. Мањи део ће запослити у блиским (поготово примењеним) гранама и тај део доприноси економском напредовању САД, но већи део ће отићи из САД и повећавати конкурентност физике (и сродних дисциплина) у другим земљама. Најочигледнији примери овога су ЕУ, Јапан, Кина и Индија. Дакле, чудно стање у коме се налази образовни систем у САД је да та земља плаћа да себи ствара конкуренцију. Подизањем квалитета науке ван САД ће доћи до повратка већег броја странаца а потом и до смањења броја студената који тамо иду на студије². Било би интересантно ову повратну спрегу убацити у горњи модел – лако се може предвидети да би на крају дошло до урушавања систему истраживања и развоја у САД. Надајмо се да ће Америка што пре уочити ове мањкавости и наћи начин да спречи

² Ово се већ примећује, мада се као основни разлог за тај процес наводи смањење разлика у економској развијености између САД и ЕУ, а не повећање компетитивности и квалитета истраживања и развоја у другим земљама. Није дакле јасно шта је старије кокошка или јаје.

могући лом. У супротном ће целокупни светски систем истраживања и развоја платити огромну цену. Било како било, то будуће решење ни у ком случају неће бити безболно³.

САД и даље доминирају светском науком, али ни близу толико убедљиво као пре. Видели смо индикаторе неких од интерних промена у САД које су довеле до овога. Видели смо, такође, да је додатни разлог за ово и појава озбиљне конкуренције – конкуренције коју САД саме стварају. На пољу истраживања и развоја основну конкуренцију САД тренутно чине ЕУ и Јапан. Јужна Кореја и Индија постају све озбиљнији конкуренти САД у неким кључним технологијама, но за сада немају довољно широку инфраструктуру научних образовних институција потребних да би били озбиљна конкуренција на ширем пољу истраживања и развоја. Са друге стране, капацитет Кине је такав да ће она у следећих 25 година сасвим сигурно постати озбиљан такмац у овој области.

По неким параметрима ЕУ и даље јако заостаје за САД. На пример радови из ЕУ су у просеку много мање цитирани од 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, као и у прецизном дефинисању својих стратешких развојних циљева.

* * *

У следећем броју настављамо започето путовање у будућност. Позабавићемо се тада кризом нових идеја у физици. Постоји ли криза, а ако постоји који су јој узроци и како се она може превазићи? Које су области осетљивије на ову кризу и зашто?

³ Једно решење «на брзака» је да се продужи трајање просечних последокторских студија. То се и чини. Постдок некада није ни постојао. Затим је један двогодишњи постдок постао обавезан, па два а сада ни три не представљају ништа чудно. Ово не решава него само одлаже проблем. Уједно то ствара још један нови проблем – истраживачи све касније долазе до оног тренутка када су слободни да се посвете истраживањима којима желе. Током трајања последокторских студија они су под посебним притиском да се фокусирају на она истраживања која им гарантују већи број радова и већу цитираност. У том периоду нове идеје и нови истраживачки правци могу бити прилично опасни. Ово све на крају има негативан утицај на општи квалитет науке коју продукујемо.