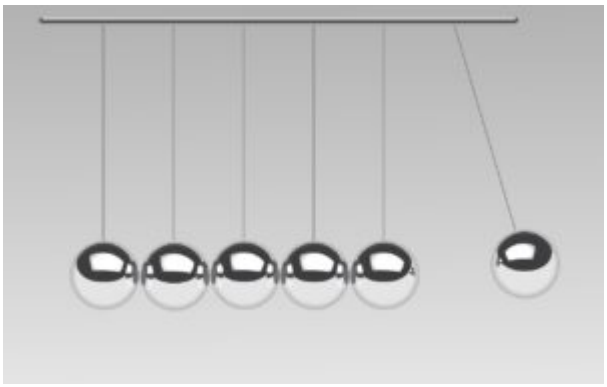
# EDUCAȚIE (ȘI) FIZICĂ

Autor: Daniel Negrea | 5 decembrie 2021



Tot ceea ce scapă atributului de „clasic”, trebuie să țină necesarmente de atributul „modern”. Este concluzia automată și banală rezultată din antonimia celor doi termeni. Inclusiv educația. În aceeași măsură, tot ceea ce nu face obiectul unei educații clasice, trebuie să se încadreze în perimetrul unei educații moderne. Intuirea acestei dihotomii, coroborate cu definiția standard a educației, i.e., ansamblu de metode și de măsuri aplicate sistematic cu scopul formării și dezvoltării însușirilor intelectuale, morale și fizice ale copiilor, tinerilor, adulților sau colectivităților umane, trimit la ideea că ar exista atât metode clasice de formare intelectuală, cât și metode moderne. Deoarece (i) nu sunt expert în domeniu, nu voi face scufundări punctuale în istoria pedagogiei, și, deoarece (ii) nu sunt pedagog, nu voi discuta nici dedesubturile metodologice responsabile cu dezvoltarea intelectuală cât mai eficientă a indivizilor. Dat fiind un set de metode, fie ele clasice sau moderne, acestea se utilizează, în cele din urmă, la predarea unei discipline. Ești gata să fii educat sau să te autoeduci învățând bine o disciplină. Pe de altă parte, atributele de clasic și modern pot fi asociate, de asemenea, și cu disciplina în cauză, astfel încât educația dobândită în urma acestui efort este categorisită și în funcție de caracteristicile disciplinei. Literatură clasică – literatură modernă, logică clasică – logică modernă, matematică clasică – matematică modernă, limbi clasice – limbi moderne, economie clasică – economie modernă, fizică clasică – fizică modernă etc. Așadar, iarăși, educație clasică – educație modernă. Din acest al doilea punct de vedere voi pune (iii) problema educației – nu dinspre metodele ei date, ci dinspre natura disciplinei care produce dezvoltare intelectuală. Fiind de formație fizician, (iv) mă voi limita la analizarea ultimei perechi antinomice: fizică clasică versus fizică modernă. Concluziile extrase de aici vor fi descrieri ale educației dobândite prin studiul fizicii.

Fizica clasică, având la bază mecanica clasică (sau mecanica newtoniană), se ocupă cu studiul fenomenelor fizice care ne sunt familiare, care ne sunt la îndemână, care nu scapă organelor noastre de simț – în cele din urmă, care nu scapă vederii, fie ea vedere naturală (ochiul liber) sau vedere artificială, dobândită prin intermediul instalațiilor experimentale ca extensii ale organelor noastre de simț (de pildă, ochiul telescopic sau

ochiul microscopic). Aici intră termodinamica clasică, electrodinamica clasică, teoria clasică a gravitației sau teoria clasică a câmpurilor. Studiază obiecte care se deplasează cu viteze mult mai mici decât viteza luminii, care au dimensiuni mult mai mari decât atomii, dar mult mai mici decât dimensiunile astronomice, care au mase, densități și energii mici. Mai precis, fenomenele care se supun principiilor fizicii clasice au un cadru de desfășurare spațial cuprins aproximativ între $10^{-10}$ metri (cele mai mici obiecte vizibile cu un microscop electronic) și $10^{+20}$ metri (dimensiunea medie a unei galaxii), un cadru al vitezelor care nu implică efecte relativiste, dar și un cadru temporal: timpi care să nu se încadreze pe o scară atomică sau cosmologică.

Pe de altă parte, fizica modernă are la bază relativitatea specială, mecanica cuantică și relativitatea generală. Studiază fenomene fizice care ne sunt total nefamiliare, care scapă organelor noastre de simț, care se manifestă în condiții extreme. Avem și aici un văz, dar este un văz aparte. Dincolo de limitele umane, putem sonda universul folosindu-ne de ustensile experimentale și teoretice care ne dezvăluie structuri ce ni se prezintă din ce în ce mai puțin sub formă de informații vizuale și din ce în ce mai mult sub formă de informații numerice. Natura, în stările ei extreme, este dificil de vizualizat. Numai cu ajutorul modelelor teoretice, al modelărilor numerice sau al datelor experimentale convertite în imagini putem „vedea”: găurile negre, stelele neutronice, roiurile galactice, interiorul stelelor, materia întunecată, nucleele atomice, nucleonii, cuarcii sau stringurile. În fizica modernă, cunoașterea vizuală este înlocuită aproape complet prin cunoaștere numerică. În plan spațial, tot ceea ce se întâmplă dincolo de limita superioară de $10^{+20}$ metri ține de domeniul cosmologiei care utilizează limbajul relativității generale. Aici, galaxiile sunt simple obiecte punctiforme ce se mișcă prin spațiu-timp. Dincoace de limita nanometrică inferioară de $10^{-10}$ metri este lumea fenomenelor cuantice, începând cu scara subatomică, continuând cu nucleele atomice și intrând mai departe în structura nucleonilor. Este o lume descrisă de mecanica cuantică. Particulele elementare sunt obiecte cuantice care au mase mici și energii mari, care se deplasează cu viteze comparabile cu viteza luminii și pentru care efectele relativiste nu pot fi neglijate. Fiind atât cuantice, cât și relativiste, aceste obiecte sunt descrise de mecanica cuantică relativistă: o încununare indispensabilă între relativitatea restrânsă și mecanica cuantică. De asemenea, cadrul de desfășurare al fizicii obiectelor supermasive și al obiectelor cu densități uriașe este acela al relativității generale.

Ce s-ar întâmpla dacă te-ai încăpățâna să folosești metodele fizicii clasice pentru studiul materiei în condiții extreme? N-ai mai reuși să descrii nimic! N-ai mai putea face fizică! Ai observa că liniile își pierd liniaritatea, traiectoriile bine definite ale particulelor nu mai au sens, determinismul devine un determinism al probabilităților; orice certitudine este parțială, este însoțită de un coeficient probabilistic de realizare, prin urmare, este asociată imediat cu o anumită incertitudine; spațiul și timpul nu mai sunt absolute, ci relative; duratele se dilată, iar lungimile se contractă; însuși spațiul încetează să mai aibă o tridimensionalitate separată și este parte dintr-un spațiu-timp patrudimensional,

timpul fiind cea de-a patra dimensiune; energia nu mai poate lua orice valoare, nu mai are o trecere valorică continuă de la o stare la alta, ci se discretizează, se manifestă prin salturi peste anumite valori imposibile; ți se revelează faptul că nu poți ști totul: poți cunoaște cu maximă certitudine impulsul unei particule SAU poziția ei, dar nu pe ambele în același timp; cu toate acestea, poți cunoaște impulsul particulei ȘI poziția ei, dar fiecare cu o anumită probabilitate. Toate aceste evidențe îți apar a fi ridicole, ilogice, imposibile! Asta tocmai pentru că încerci să le înțelegi prin metode inadecvate.

În fizica modernă, toate cele enumerate mai sus au un sens perfect. Noile ramuri ale fizicii moderne reprezintă, rând pe rând, generalizări ale teoriilor clasice. Aceste generalizări, pentru a face loc excepțiilor fenomenologice, implică formularea unor noi principii. Gonflate principial și metodologic, teoriile moderne au o putere explicativă și predictivă mult mai vastă. Totul se plătește însă. Dacă vrei să știi mai multe despre univers, ești forțat să înveți mai multă matematică, ești forțat să înveți să gândești mai abstract, să vizualizezi obiecte abstracte, să ai o imaginație mai bogată din punctul de vedere al lumii obiectelor matematice, să depui un efort intelectual mai consistent, să te scoți puțin pe tine însuți din rutina clasicului. Pentru că relativitatea generală, în absența noțiunii matematice de tensor, nu există. De asemenea, mecanică cuantică fără operatori matematici iarăși nu se poate face. Noile fenomenele fizice, care infirmă toate teoriile clasice, sunt extraordinare, copleșitoare, provocatoare, uluitoare, dar înțelegerea lor reclamă noi intuiții, noi reflexe, o naturalețe și o ușurință de manipulare a obiectelor abstracte. Mecanica clasică este înțesată de noțiuni facile. Poziție, viteză, timp, impuls, energie – toate acestea sunt naturale, intuitive. Nu este nevoie să mergi la școală pentru a le ști. Și totuși, în mecanica clasică, există noțiunea de vector, dar aceasta este încă ușor de asimilat. Majoritatea absolvenților de 8 clase știu foarte bine ce este un vector. *Grosso modo* remarcat, pentru înțelegerea mecanicii clasice nu-ți trebuie prea multă școală. Nu-ți trebuie o pregătire matematică prea solidă. Pe de altă parte, mecanica cuantică este înțesată numai de noțiuni abstracte. Toate mărimile clasice au un echivalent cuantic: operatorii. Cuvântul „cuantic” trimite către cuantificare, în particular, cuantificarea energiei sau a momentului cinetic. Dar nu este doar atât. Cuantic mai înseamnă și că, în mecanica cuantică, toate mărimile clasice devin operatori matematici: poziție – operator poziție, impuls – operator impuls, energie – operator energetic (Hamiltonianul), moment cinetic – operator moment cinetic ș.a.m.d. Apoi, mai există funcțiile de undă, stările cuantice de tip bra și ket, vectori proprii și valori proprii, spațiul Hilbert, observabilele compatibile și incompatibile, precum și numerele imaginare. Din lumea cuantică poți ști numai ceea ce te învață calculele cu acești operatori că poți ști.

Relativitatea specială, precum și cea generală nu sunt nici ele mai puțin accesibile. Tensori covarianți și contravarianți, derivate covariante și contravariante, metrici, tensorul de curbură Riemann, tensorul Ricci, simbolurile Christoffel ș.a.m.d. Curburile spațio-temporale, găurile negre, găurile de vierme, călătoriile în timp, Big Bang-ul –

toate sunt subiecte care fascinează, dar, în spatele lor, se ascunde o matematică complexă. Suntem forțați să învățăm noțiuni din ce în ce mai dificile la vârste din ce în ce mai fragede. Este mult de lucru, mult de buchisit, dar, în cele din urmă, și satisfacțiile sunt pe măsură. Să știi că ai pornit pe drumul cunoașterii prin înțelegerea unor noțiuni abstracte care inițial nu aveau niciun sens, să le vezi cum încep să comunice între ele, cum se așează atât de armonios în structura unei teorii și cum reușesc să descrie atât de precis natura, având atâta acoperire experimentală – mai precis toată –, ei bine, o asemenea revelație este inefabilă. (Ce-or fi simțit Einstein, Bohr, Dirac, Heisenberg, Schrödinger, de Broglie sau Born când au observat că vălul gros de ceață ce se așeza între ei și cotloanele cele mai întortocheate ale naturii se subția de la o zi la alta, că șmecheriile lor matematice erau cheia, singura cheie? Premiul Nobel, pe lângă starea aceea de rară euforie, trebuie să le fi provocat un simplu surâs șters.)

Din punctul de vedere al însești principiilor de bază ale acestor teorii, înțelegerea iarăși nu este la îndemâna oricui. Principiile mecanicii newtoniene sunt imediat experimentabile și înțelese. De exemplu: principiul acțiunii și reacțiunii. Dai un bobârnac unui obiect și înțelegi instantaneu despre ce este vorba. Ce te faci însă cu principiile mecanicii cuantice? Exemplu: principiul măsurătorii – rezultatele posibile ale unei măsurători sunt valorile proprii ale operatorului asociat observabilei. Imposibil de priceput acest principiu fără cunoștințe matematice. Cea mai importantă concluzie a relativității generale este aceea că materia curbează spațiu-timpul, iar curburile spațio-temporale dictează felul în care se mișcă materia. De astă dată, un detaliu ceva mai ușor de digerat, dar încă tare solicitant matematic.

Teoriile moderne se nasc din nevoia de a descrie fenomene fizice recent descoperite care nu pot fi altfel explicate de nicio teorie existentă, la momentul descoperirii, în comunitatea științifică. Acestea produc nu numai cunoaștere a naturii, ci, de fiecare dată, produc și realizări tehnologice noi mai mult sau mai puțin utile, mai mult sau mai puțin nocive. Este adevărat că au trebuit să treacă aproape 100 de ani până la apariția calculatoarelor cuantice, dar, între timp, au fost născocite multe alte invenții, astăzi indispensabile, precum: computerele clasice și telefoanele inteligente, microscoapele electronice și cele de scanare prin efect tunel, laserul, ceasurile atomice, imagistica prin rezonanță magnetică nucleară, supraconductorii utilizați în dinamica trenurilor etc. De cealaltă parte, în relativitatea generală, se poate folosi fenomenul de lentilă gravitațională – evident că nu pentru uzul casnic al fiecăruia, ci pentru a se realiza noi descoperiri – în astrofizică: identificarea diverselor proprietăți ale materiei întunecate sau utilizarea acestor lentile ca telescoape gravitaționale pentru observarea celor mai îndepărtate galaxii. Cine știe ce alte realizări tehnologice vor însoți teoriile moderne de mâine?

Cum își fac intrarea toate aceste teorii îndrăznețe (1) în rândul oamenilor de știință? Dar (2) în rândul oamenilor obișnuiți, al tinerilor cu mintea proaspătă, al curioșilor de toate

vârstele? (1) În rândul oamenilor de știință totul se întâmplă prin faptul că noile teorii au forța de a explica concret date experimentale anterioare neelucidate, prin dezvoltarea de instalații experimentale costisitoare anume dedicate confirmării teoriilor, prin publicarea de articole și cărți de specialitate, prin conferințe, prin universități și institute de cercetare. Dacă se întâmplă așa, teoriile se instalează ca teorii moderne durabile ale fizicii în sânul comunităților științifice. Cu toate acestea, lucrurile se desfășoară extrem de lent. Există și în rândul fizicienilor tendințe refractare la abordări insolite. Noul repugnă, incomodează, contrazice, enervează și dezorientează. Adevărurile scoase la iveală de aceste teorii fac parte din vechea familie de adevăruri cu o soartă comună: acelea care trec prin faza ridiculizării, apoi prin faza combaterii violente și, în cele din urmă, prin faza acceptării lor ca adevăruri de la sine înțelese. Însuși Einstein – cel mai prolific creator de idei fizice revoluționare – a respins, la început, vehement mecanica cuantică făcând celebra observație: „Dumnezeu nu joacă zaruri cu universul.” Apoi, chiar și teoria relativității restrânse a fost rejectată, deoarece era mult prea abstractă matematic. Numai câțiva oameni din lume erau capabili, la începutul secolului trecut, s-o înțeleagă perfect. De asemenea, Max Planck – părintele mecanicii cuantice – bine ancorat în terenul solid al fizicii clasice, a refuzat să creadă, multă vreme, în concluzia lui majoră extrasă din studiile privind radiația corpului negru: aceea că energia se cuantifică. Astăzi, același sentiment larg răspândit în rândul fizicienilor există vizavi de teoria stringurilor. Este atât de complicată matematic, încât, precum teoria relativității în primii ei ani de existență, doar câteva minți sclipitoare ale zilei reușesc s-o priceapă. (Mai mult decât atât, cercetătorii care activează în domeniul teoriei stringurilor sunt nu numai buni fizicieni, ci și buni matematicieni. Matematicienii înșiși publică lucrări despre stringuri. Este o activitate de cercetare fizico-matematică.) Incapacitatea de a înțelege temeinic o nouă teorie fizică poate conduce rapid la respingerea ei.

Fizica modernă pătrunde mult mai ușor în rândul publicului larg, al persoanelor care nu au pregătire de fizicieni. Tinerii înțeleg bine mecanica cuantică fără să-i șocheze foarte tare. (Să ne amintim cuvintele lui Niels Bohr: „Cine nu este șocat de mecanica cuantică, înseamnă că n-o înțelege.”) Sunt cel mult ușor surprinși. Spre deosebire de adulți, tinerii sunt mult mai receptivi la idei noi. („Relațiile de incertitudine ale lui Heisenberg? Oh, dar sunt firești!”) Pe de altă parte, adulții își pun toată încrederea în oamenii de știință și acceptă – fie că vor, fie că nu vor – inacceptabilul. Pe lângă mecanismele de inoculare a informației prin școli sau prin autodidacticism, aceste idei ajung la oameni și prin căi neconvenționale: prin pisicuța lui Schrödinger și demonul lui Maxwell, prin calculatoare cuantice, prin efecte de tunelare, prin paradoxul gemenilor și călătoriile în timp, prin particula lui Dumnezeu (bosonul Higgs) și undele gravitaționale, prin cărți și articole de popularizare științifică, prin documentare pe Discovery, prin conferințe de tip TED, prin cărți care încearcă să prezinte copiilor cele mai dificile concepte fizice (Hawking și soția lui au publicat mai multe astfel de cărți), prin filme SF din ce în ce mai precise științific (oameni de știință celebri consiliază regizori în privința acurateței științifice vărsate în

scenariu) sau prin colecțiile de glume de tipul „a neutron walks into a bar”.

După zeci de ani de reușite explicative cu precizii excepționale, de confirmări experimentale dintre cele mai diversificate, de popularizare în rândul oamenilor de știință și-al publicului din toată lumea, de participări la nenumărate realizări tehnologice, vine un timp când teoriile moderne îmbătrânesc și se clasicizează. Și nu pentru că încep să șchiopăteze în străduințe explicative, ci pentru că epuizează tot spațiul fenomenelor fizice de investigat, pentru că nu mai sunt luate prin surprindere de niciun contraargument, pentru că se demodează. Ele intră în categoria clasicului și-i dau acestuia o nouă dimensiune. Este, în opinia mea, cazul exemplar al relativității restrânse. Clasicul de ieri, al spațiului și timpului absolute, devine clasicul de azi, al spațiului și timpului relative. Chestiunea este bătută în cuie. Ceea ce, ieri, era accesibil doar câtorva, astăzi, este accesibil oricui urmează cursurile unui liceu de științe exacte. Mecanica cuantică și relativitatea generală nu sunt nici ele departe de propria lor clasicizare. Cine știe care vor fi următoarele teorii la modă? Poate teoria stringurilor? Încă îi așteptăm prima confirmare experimentală. Până atunci, rămâne o teorie de sine stătătoare, liberă de vreo datorie lămuritoare în domeniul realului.

Ce învățăm despre educație atunci când învățăm fizică clasică și fizică modernă? Învățăm că a avea o educație strict clasică înseamnă a avea acces la un cadru restrâns al realului, înseamnă a înțelege lumea, pe cât posibil, prin intermediul organelor de simț și dintr-o perspectivă care necesită mai puțin efort intelectual, înseamnă a suferi de neofobie, înseamnă a te limita la strictul necesar, înseamnă a refuza să lași loc incertitudinilor, în fine, înseamnă a fi perfect de acord cu ceea ce a spus cândva Kelvin: „There is nothing new to be discovered in physics now. All that remains is more and more precise measurement.” Pe de altă parte, a avea o educație modernă înseamnă a avea toată educația clasică (!), înseamnă a avea acces cognitiv la un cadru lărgit al naturii, înseamnă a vedea lumea și altfel decât prin intermediul ochilor, și altfel decât strict senzorial, înseamnă a jongla intelectual cu noțiuni abstracte cu o asemenea naturalețe încât să amintească de trebăluirea cu diverse obiecte dintr-o gospodărie, înseamnă a cunoaște lumea probabilistic, a lăsa loc incertitudinilor, a fi neofil, a insista în a scoate noul, dacă se poate, din nimic.

Ne educăm cu atât mai eficient, cu cât trăim mai mult clasicizarea continuă a teoriilor moderne ale fizicii însoțită, bineînțeles, de un flux proaspăt de noi teorii, cu cât observăm mai mult cum nodurile gordiene de ieri pică unul câte unul și că, astăzi, perfect descâlcite, atârnă neputincioase într-un cuier al cognoscibilului la îndemâna oricui. A avea o educație numai clasică înseamnă, mai devreme sau mai târziu, a avea o educație searbădă. Ori oamenii au o nevoie aproape viscerală de noi instrumente de cunoaștere a lumii. Așa cum păianjenii își secretă continuu pânza pentru a supraviețui, tot așa și oamenii țes noi teorii și instalații experimentale pentru a supraviețui spiritual și pentru a-și satisface nevoia acută de a inventa cu nemiluita, pentru a nu cădea în

letargia anticipării facile și pentru a nu se acomoda cu deterministica de șuetă. (Mâine va fi cald. La noapte va ploua. Etc.) Nu vrem doar asta. Și există, slavă Domnului, suficient loc pentru asemenea activități. Deoarece cunoașterea lumii fizice nu are finalitate. Deoarece cunoașterea, în general, are un parcurs transfinit. Deoarece nu va exista niciodată o teorie finală a fizicii.

*Imagine: Pixabay*