

između Francuza i Nijemaca ostaje nešto zajedničko, budući da su jedni i drugi ljudi. Ipak bi uspjelo sporazumijevanje s našim hipotetskim neeuclidovcima, premda oni ne bi bili ljudi, zato što bi oni još zadržali nešto ljudskoga. Ali u svakom slučaju potreban je jedan minimum ljudskosti.

To je moguće, ali upozorit ću najprije da bi ono malo ljudskosti što bi preostalo kod neeuclidovaca bilo dovoljno ne samo da se uzmogne prevesti *malo* njihova jezika nego da se uzmogne prevesti *čitav* njihov jezik.

Sada, da bi ustrebao jedan minimum, to dopuštam; pretpostavimo da postoji ne znam kakav fluid koji prodire između molekula naše materije a da nimalo ne djeluje na nju niti da trpi bilo kakvo djelovanje koje dolazi od nje. Pretpostavimo da bi neka bića bila osjetljiva na utjecaj tog fluida a neosjetljiva na utjecaj naše materije. Jasno je da bi se znanost tih bića apsolutno razlikovala od naše i da bi bilo suvišno tražiti neku „invarijantu“ zajedničku tim dvjema znanostima. Ili opet, ako bi ta bića odbacivala našu logiku i ne bi priznavala, na primjer, princip kontradikcije.

Ali doista mislim da je nezanimljivo razmatrati slične hipoteze.

I onda, ako ne tjeramo tako daleko s bizarnošću, ako uvodimo samo fiktivna bića koja imaju osjetila analogna našima i osjetljiva na iste podražaje i koja, s druge strane, priznaju principe naše logike, tada ćemo moći zaključiti da bi njihov jezik, koliko god različit od našega, bilo uvijek moguće prevoditi.

Dakle, mogućnost prevodenja implicira postojanje neke invarijante. Prevoditi, to upravo i znači izlučiti tu invarijantu. Tako dešifrirati neku kriptografsku ispravu znači tražiti ono što u toj ispravi ostaje invarijantno kad se zamijene slova.

Koja je sad narav te invarijante, to je lako razabrati i dostajat će nam jedna riječ. Invarijantni su zakoni, odnosi između sirovih činjenica, dok su odnosi između „znanstvenih činjenica“ uvijek ostajali ovisni o određenim konvencijama.

Pierre Duhem

FIZIKALNA TEORIJA I EKSPERIMENT

§ I — Eksperimentalna provjera jedne teorije nema u fizici istu logičku jednostavnost kao u fiziologiji

Fizikalna teorija nema drugog cilja osim iznošenja i klasificiranja eksperimentalnih zakona; jedina provjera koja dopušta prosuđivanje neke fizikalne teorije, da se ona proglaši dobrom ili lošom, jest usporedba između konzekvenci te teorije i eksperimentalnih zakona koje ona mora prikazivati i grupirati. Sad kad smo najpodrobnije analizirali osobine jednog fizikalnog eksperimenta i jednog fizikalnog zakona, možemo utvrditi princip koji moraju upravljati usporedbom između eksperimenta i teorije; možemo reći kako će se prepoznati da li činjenice neku teoriju potvrđuju ili pobijaju.

Mnogi filozofi, kad govore o eksperimentalnim znanostima, pomišljaju samo na znanosti koje su još na svom početku, kao fiziologija, kao neke grane kemije, gdje istraživač razmišlja izravno o činjenicama, gdje je metoda kojom se služi naprsto zdrav razum učinjen pažljivijim, gdje matematička teorija još nije uopće uvela svoje simboličke prikaze. U takvim znanostima usporedba između dedukcija iz jedne teorije i iskustvenih činjenica podložna je veoma jednostavnim pravilima; ta je pravila na osobito upečatljiv način formulirao Claude Bernard koji ih je sažeо u ovaj jedinstven princip¹:

„Eksperimentator mora sumnjati, izbjegavati fiksne ideje i uvijek čuvati slobodu svog duha.

Prvi uvjet što ga mora ispunjavati učenjak koji se posvećuje istraživanju prirodnih pojava jest da očuva potpunu slobodu duha baziranu na filozofskoj sumnji.“

Ako teorija sugerira eksperimente koje treba napraviti — to bolje: „Možemo² slijediti svoj osjećaj i svoju ideju, dati maha svojoj imaginaciji pod uvjetom da sve naše ideje budu

¹ Claude Bernard: *Introduction à la Médecine expérimentale*, Paris 1865; str. 63.

² Claude Bernard, *ibid.*, str. 64.

samo izlike za uvođenje novih eksperimenata koji nam mogu pribaviti potvrđne ili neočekivane i plodne činjenice.“ Kad je jednom eksperiment obavljen i rezultati jasno konstatirani, ako ih preuzme teorija da ih generalizira, koordinira i iz njih izvuče nove sadržaje za eksperimente — opet još bolje: „Ako smo dobro usvojili³ principe eksperimentalne metode, nemamo se čega bojati; jer sve dok je ideja ispravna, nastavljamo je razvijati; kad je pogrešna, eksperiment je tu da je ispravi.“ Ali sve dok traje eksperiment, teorija treba da ostane pod strogom zabranom pred vratima laboratorija; ona mora šutjeti i bez ometanja pustiti učenjaka licem u lice s činjenicama; činjenice treba promatrati bez unaprijed stvorene ideje, prikupljati ih istom brižljivom nepristranošću bilo da potvrđuju predviđanja teorije ili da im proturječe. Izveštaj što će nam ga promatrač dati o svom eksperimentu mora biti vjeran i skrupulozno točan odraz pojave; ne smije nam čak ostaviti da pogodimo u koji sistem učenjak ima pouzdanja a u koji nema povjerenja.

„Ljudi⁴ koji imaju pretjeranu vjeru u svoje teorije ili u svoje ideje nemaju samo loše predispozicije da dođu do otkrića nego još k tome vrše veoma loša opažanja. Oni nužno promatralju s unaprijed stvorenom idejom i, kad su izveli neki eksperiment, žele u rezultatima vidjeti samo potvrdu svoje teorije. Oni tako iskriviljuju opažanje i često prenebregavaju veoma važne činjenice budući da ove ne pridonose njihovu cilju. To nas je uostalom potaklo da drugdje reknemo da nikada ne valja vršiti eksperimente radi potvrđivanja svojih ideja, nego jednostavno radi njihova provjeravanja... Ali dešava se posve prirodno da oni koji previše vjeruju svojim teorijama ne vjeruju dovoljno teorijama drugih. Tada je dominirajuća ideja tih ljudi koji druge preziru u tome da pronađu nedostatak u teorijama drugih i da im nastoje proturječiti. Nepovoljna strana za znanost ostaje ista. Oni vrše eksperimente samo zato da unište jednu teoriju umjesto da ih vrše radi traženja istine. Oni isto tako obavljaju loša opažanja zato što uzimaju u rezultate svojih eksperimenata samo ono što odgovara njihovome cilju, zanemarujući ono što se s njime ne slaže i odbacujući na stranu veoma brižljivo sve što bi moglo ići u smjeru ideje koju žele opovrći. Tako se, dakle, dolazi dvama suprotnim putovima do istog rezultata, tj. do krivotvorenja znanosti i činjenica.

Zaključak je svega toga da pred konačnim rezultatima eksperimenta treba izbrisati svoje mišljenje isto tako kao i

³ Claude Bernard, *ibid.*, str. 70.

⁴ Claude Bernard, *ibid.*, str. 67.

mišljenje drugih;... da treba prihvati rezultate eksperimenta takvima kakvi se pokazuju sa svom njihovom neočekivanošću i njihovim slučajnostima.“

Eto, na primjer, jednog fiziologa; on priznaje da prednji korijeni ledne moždine kriju motorna živčana vlakna a stražnji korijeni senzorna vlakna; teorija koju on prihvaca vodi ga zamišljanju jednog eksperimenta: ako presječe taj i taj prednji korijen, on bi morao onemogućiti pokretnost tog i tog dijela tijela bez uništavanja njegove podražljivosti; kada poslije presijecanja tog korijena bude opažao posljedice svoje operacije, kada bude o tome podnosio izveštaj, ne smije se obazirati ni na koju od svojih ideja koje se tiču fiziologije moždine; njegov odnos treba da bude sirov opis činjenica; nije mu dopušteno da prešuti jedan pokret, jedan trzaj protivan njegovim predviđanjima; nije mu dopušteno da ga pripše nekom sekundarnom uzroku osim ako neki poseban eksperiment nije iznio na vidjelo taj uzrok; ako ne želi biti optužen za znanstveno neupoštenje, mora uspostaviti apsolutno odvajanje, nepropusnu pregradu, između posljedica svojih teorijskih izvoda i konstatacije činjenica koje mu otkrivaju njegovi eksperimenti.

Takvo pravilo nije uopće lako slijediti; ono iziskuje od učenjaka apsolutno distanciranje od svoga vlastitog osjećaja, potpunu odsutnost animoziteta pri susretu s tuđim mišljenjem. Ne smije gajiti ni taštinu ni zavist i, kao što kaže Bacon, „oko mu se ne smije nikada zažariti ljudskim strastima“. Sloboda duha koja, po Claude Bernardu, čini jedini princip eksperimentalne metode, ne ovisi samo o intelektualnim uvjetima nego i o moralnim uvjetima koji tu praksi čine još rijedom i još hvalevrednjom.

Ali ako je eksperimentalnu metodu, takvu kakvu smo upravo opisali, teško primjenjivati, logička je analiza te metode veoma jednostavna. Nije to isto kad teorija, o čijem se podvrgavanju kontroli činjenica radi, nije više teorija fiziologije nego teorija fizike. U stvari, ovdje ne može više biti govora o ostavljanju pred vratima laboratorija teorije koju se želi provjeriti, jer bez nje nije moguće podesiti jedan jedini instrument, interpretirati jedno jedino očitavanje; vidjeli smo, u duhu fizičara koji eksperimentira stalno su prisutne dvije sprave: jedna je sprava konkretna, od stakla, od metala, i njom on rukuje; druga je sprava shematska i apstraktna i nju teorija postavlja na mjesto konkretnе sprave i o njoj fizičar rasuđuje. Te su dvije ideje nerazrešivo povezane u njegovu razumu; svaka od njih nužno asocira drugu. Fizičar isto tako ne može zamisliti konkretnu spravu a da ona kod njega ne asocira pojам shematske sprave kao što Francuz ne može za-

misliti neku ideju a da ona kod njega ne izazove asocijaciju na francusku riječ koja je izražava. Ta radikalna nemogućnost koja sprečava odvajanje fizikalnih teorija od eksperimentalnih postupaka za provjeravanje istih tih teorija neobično komplikira tu provjeru i obavezuje nas da veoma pažljivo razmotrimo njezin logički smisao.

Istinu govoreći, fizičar nije jedini koji se poziva na teorije upravo u onom trenutku dok eksperimentira ili dok saopće rezultat svojih eksperimenata; kemičar, fiziolog, dok se služe fizičkim instrumentima, termometrom, manometrom, kalorimetrom, galvanometrom, saharometrom, implicitno priznaju točnost teorija koje opravdavaju upotrebu tih sprava. teorija koje daju smisao apstraktnim pojmovima temperature, tlaka, količine topline, jačine struje, polarizirane svjetlosti, kojima se prevodi ono što konkretno pokazuju ti instrumenti. Ali teorija kojima se oni služe kao i instrumenti koje upotrebljavaju s područja su fizike; prihvaćajući skupa s instrumentima teorije bez kojih bi ono što oni pokazuju bilo lišeno smisla, u fizičara se pouzdaju kemičar i fiziolog, za fizičara pretpostavljaju da je nepogrešiv. Naprotiv, fizičar se mora pouzdati u svoje vlastite teorijske ideje ili u teorijske ideje njemu sličnih. S logičkog gledišta razlika je od male važnosti; za fiziologa, za kemičara kao i za fizičara iskaz o rezultatu jednog eksperimenta implicira općenito čin vjere u cijedan skup teorija.

§ II — Da jedan fizički eksperiment ne može nikada opovrgnuti jednu izdvojenu hipotezu nego samo cijedan skup teorija

Fizičar koji izvodi neki eksperiment ili o njemu izvještava priznaje implicitno točnost čitava skupa teorija. Priznajmo taj princip i pogledajmo koje se konzekvene mogu odatle izvesti kad se nastoji procijeniti uloga i logički domaćaj jednog fizičkog eksperimenta.

Da izbjegnemo svaku zbrku, lučit ćemo dvije vrste eksperimenta: eksperimente primjene, o kojima ćemo odmah nešto reći, i eksperimente provjere, kojima nadasve treba da se pozabavimo.

Pred vama je jedan fizikalni problem koji treba praktično riješiti: da proizvedete taj i taj učinak, želite se poslužiti spoznajama što su ih stekli fizičari; želite na primjer, upaliti jednu električnu svjetiljku s usijanim nitima. Prihvaćene vam teorije naznačuju način rješavanja tog problema. Ali da se poslužite tim načinom, morate sebi pribaviti odredene obavijesti;

morate, pretpostavljaj, utvrditi elektromotornu silu baterije akumulatora kojima raspolažete; vi mjerite tu elektromotornu silu; eto jednog eksperimenta primjene. Taj eksperiment nema za cilj provjeriti da li su prihvaćene teorije točne ili nisu; on se naprosto namjerava okoristiti tim teorijama. Da ga izvedete, služite se instrumentima koje legaliziraju upravo te teorije. Nema u tome ničega što vrijeda logiku.

Ali eksperimenti primjene nisu jedini koje fizičar mora vršiti. Jedino putem njih znanost može pomagati praksi, ali znanost se putem njih nikako ne stvara i ne razvija. Uz eksperimente primjene postoje eksperimenti provjere.

Jedan fizičar pobija taj i taj zakon; on stavlja u sumnju tu i tu točku teorije; kako će opravdati svoje sumnje? Iz inkrimiranog stava izvest će predviđanje jedne iskustvene činjenice; ostvarit će uvjete u kojima ta činjenica mora nastati; ako se najavljenja činjenica ne ostvari, stav koji ju je predviđio bit će nepovratno otpisan.

F.-E. Neumann je pretpostavio da je u jednoj zraki polarizirane svjetlosti vibracija paralelna ravnni polarizacije. Mnogi su fizičari osporavali taj stav. Kako je gosp. O. Wiener postupio da tu sumnju pretvoriti u izvjesnost, da osudi Neumannov stav? Evo koju je konzervenciju izveo iz tog stava. Ako se izazove interferencija jednog svjetlosnog snopa odbijenog pod kutom od 45° od staklene ploče, s upadnim snopom polariziranim okomito na ravninu upada, moraju nastati naizmjenično svijetli i tamni pojasevi paralelni s površinom odbijanja. On je ostvario uvjete u kojima su trebali nastati pojasevi i pokazao da se predviđeni fenomen ne javlja. Zaključio je da je stav F.-E. Neumanna neistinit, da u jednoj polariziranoj zraki vibracija nije paralelna s ravninom polarizacije.

Takov način dokazivanja čini se isto tako uvjerljivim, isto tako neoborivim kao redukcija *ad absurdum* uobičajena u geometriji. Uostalom, taj je dokaz i rađen po uzoru na redukciju *ad absurdum*, pri čemu eksperimentalna proturječnost igra u jednom ulogu koju logička proturječnost igra u drugom.

U stvari, ni izdaleka nije potrebno da dokazna vrijednost eksperimentalne metode bude tako rigorozna, tako absolutna; uvjeti u kojima ona funkcioniра mnogo su komplikiraniji nego što je to bilo pretpostavljeno u onome što smo upravo rekli; ocjenjivanje rezultata mnogo je delikatnije i nepouzdano.

Fizičar namjerava dokazati netočnost nekog stava. Da bi izveo iz tog stava predviđanje neke pojave, da bi izveo eksperiment koji treba da pokaže da li se ta pojava ostvaruje ili se ne ostvaruje, da bi interpretirao rezultate tog eksperimenta i konstatirao da se predvidena pojava ne ostvaruje, on se ne

ograničuje na to da se služi spornim stavom; također upotrebjava, cito jedan skup teorija koje on prihvata bez diskusije. Predviđanje pojave čije neostvarivanje treba da prekine raspravu ne proizlazi iz spornog stava uzetog izdvojeno nego iz spornog stava zajedno s tim čitavim skupom teorija. Ako se predviđena pojava ne ostvari, nije sporni stav jedini stavljen u pitanje nego čitav teorijski splet kojim se fizičar poslužio. Jedina stvar kojoj nas uči eksperiment jest da između svih stavova koji su upotrijebljeni za predviđanje te pojave i za konstatiranje da se ona nije ostvarila postoji najmanje jedna greška; ali gdje leži ta pogreška, to je ono što nam eksperiment ne kaže. Hoće li fizičar izjaviti da je ta pogreška sadržana upravo u stavu što ga je želio opovrgnuti a ne drugdje? U tom slučaju on implicitno prihvata točnost svih drugih stavova kojima se poslužio. Koliko vrijedi njegovo povjerenje, toliko vrijedi njegov zaključak.

Uzmimo, na primjer, eksperiment što ga je zamislio Zener a realizirao gosp. O. Wiener: da bi predviđio formiranje pojaseva u određenim okolnostima i da bi pokazao da se ti pojasevi ne javljaju gosp. O. Wiener nije se poslužio samo glasovitim stavom F.-E. Neumanna, stavom koji je želio opovrći; on nije samo prihvatio da su u polariziranoj zraci vibracije paralelne ravnini polarizacije; poslužio se osim toga stavovima, zakonima, hipotezama koji čine općenito prihvaćenu optiku. Pretpostavio je da se svjetlost sastoji od jednostavnih periodičkih vibracija, da su te vibracije okomite na svjetlosnu zraku, da u svakoj točki srednja kinetička energija vibracionog kretanja jest mjeru svjetlosnog intenziteta, da više ili manje potpuno oštećenje emulzije fotografskog filma označuje razlike stupnjeve tog intenziteta. Združujući s Neumannovim te različite stavove i mnogo drugih koje bi bilo predugačko nabrajati, Wiener je uzmogao formulirati jedno predviđanje i utvrditi da eksperiment opovrgava to predviđanje. Ako se, prema gosp. Wieneru, opovrgavanje odnosi jedino na Neumannov stav, ako on jedini treba da snosi odgovornost za pogrešku što ju je to opovrgnuće iznijelo na vidjelo, to znači da gosp. Wiener smatra da su drugi stavovi što ih je naveo izvan sumnje. Ali to se povjerenje ne nameće logičkom nužnošću. Ništa ne prijeći da točnim smatramo stav F.-E. Neumanna i da težinu eksperimentalne proturječnosti prebacimo na neki drugi stav općenito prihvaćene optike. Neumannova se hipoteza, kao što je pokazao gosp. H. Poincaré, može staviti izvan dometa eksperimenta gosp. O. Wienera, ali uz uvjet da se u zamjenu napusti hipoteza koja uzima srednju kinetičku energiju vibracionog kretanja kao mjeru svjetlosnog intenziteta. Bez izlaganja opas-

nosti da nam eksperimenti proturječe može se vibracija učiniti paralelnom s ravninom polarizacije pod uvjetom da se svjetlosni intenzitet mjeri srednjom potencijalnom energijom medija koji deformira vibraciono kretanje.

Ti principi imaju takvu važnost da možda neće biti nadmet primijeniti ih na jedan drugi primjer. Izaberimo opet jedan eksperiment iz optike smatrani jednim od najodlučnijih.

Zna se da je Newton smislio jednu teoriju optičkih fenomena, teoriju emisije. Teorija emisije pretpostavlja da je svjetlost sastavljena od krajnje finih projektila koje velikom brzinom odašilju sunce i drugi svjetlosni izvori. Ti projektili prodireti kroz sva prozirna tijela. Od strane raznih dijelova sredina unutar kojih se kreću oni trpe privlačna ili odbojna djelovanja. Ta su djelovanja veoma jaka kad je razdaljina koja odvaja čestice u djelovanju sasvim malena, a ona nestaju kad se mase između kojih se ona odvijaju osjetno udalje. Te bitne hipoteze, združene s više drugih preko kojih šutke prelazimo, vode do formuliranja jedne potpune teorije odbijanja i prelamanja svjetlosti. One napose povlače sljedeću konzervenciju: indeks loma svjetlosti koja prelazi iz jedne sredine u drugu jednak je brzini svjetlosnog projektila u sredini u koju ulazi podijeljenoj brzinom istog projektila u sredini koju napušta.

Tu je posljedicu Arago odabralo da teoriju emisije doveđe do proturječnosti s činjenicama. Iz tog stava, u stvari, proizlazi ovaj drugi: svjetlost se u vodi kreće brže nego u zraku. Arago je, dakle, ukazao na postupak za uspoređivanje brzine svjetlosti u zraku s brzinom svjetlosti u vodi. Doduše, postupak je bio neprimjenjiv, ali Foucault je modificirao eksperiment na taj način da je mogao biti izведен i on ga je izveo. Ustanovio je da se svjetlost u vodi širi sporije nego u zraku. S Foucaultom se odatle može zaključiti da je sistem emisije nespojiv s činjenicama.

Kažem sistem emisije a ne hipotezu emisije; u stvari, ono što eksperiment proglašuje okaljanim greškom čitav je jedan skup stavova koje je prihvatio Newton a poslije njega Laplace i Biot. To je cjelokupna teorija iz koje se izvodi odnos između indeksa loma i brzine svjetlosti u različitim sredinama. Ali osuđujući taj sistem u cjelini, izjavljujući da je okaljan greškom, eksperiment nam nije rekao gdje se nalazi ta greška: da li je ona u fundamentalnoj hipotezi da se svjetlost sastoji od projektila koje svjetleća tijela izbacuju velikom brzinom? Da li je ona u nekoj drugoj pretpostavki koja se odnosi na djelovanja koja svjetlosne korpuskule trpe od sredina unutar kojih se kreću? O tome ne znamo ništa. Bilo bi prenagljeno misliti, kako je, čini se, mislio Arago, da Foucaultov eksperi-

ment zauvijek osuđuje samu hipotezu emisije, izjednačavanje zrake svjetlosti s rafalom projektila. Da su fizičari pridavali kakvu vrijednost tom zadatku, oni bi bez sumnje uspjeli na toj pretpostavci zasnovati optički sistem koji bi se slagao s Foucaultovim eksperimentom.

Sve u svemu, fizičar ne može nikada podvrgavati eksperimentalnoj provjeri jednu izdvojenu hipotezu nego samo cio jedan skup hipoteza. Kad je eksperiment u neskladu s njegovim predviđanjima, on ga uči da je barem jedna od hipoteza koje čine taj skup neprihvatljiva i treba da bude modificirana. Ali eksperiment mu ne naznačuje onu koju treba mijenjati.

Evo nas veoma daleko od eksperimentalne metode kakvom je rado zamišljaju osobe kojima je strano njezino funkciranje. Općenito se misli da je moguće svaku od hipoteza kojima se služi fizika uzimati zasebno, podvrgavati je eksperimentalnoj provjeri a zatim, kad su raznovrsne i višestruke provjere utvrdile njezinu vrijednost, staviti je na neki definitivan način na njezino mjesto u sistemu fizike. U stvari, to nije tako. Fizika nije stroj koji se dade rastaviti. Ne može se ispitivati zasebno svaki komad i, da ga se namjesti, čekati da njegova čvrstoća bude veoma pažljivo provjerena. Fizikalna je znanost sistem koji treba biti uzet kao cjelina; to je organizam kod kojeg ne može funkcionirati jedan dio a da dijelovi najudaljeniji od njega ne uđu u igru, jedni više, drugi manje, a svi u nekoj mjeri; ako se u tom funkcioniranju otkrije neka nezgoda, neka slabost, upravo po učinku proizvedenu na sistem u svoj njegovoj cjelini fizičar će morati pogoditi koji organ treba popraviti ili modificirati a neće mu biti moguće izdvojiti taj organ i zasebno ga razmotriti. Urar kojem damo sat koji ne ide rastavlja sve njegove kotačice i ispituje ih jedan po jedan sve dok ne pronađe koji je neispravan ili slomljen; liječnik kome dovode bolesnika ne može ga secirati da ustanovi svoju dijagnozu. On mora pogoditi žarište i uzrok bolesti jedino promatranjem poremećaja koji zahvaćaju čitavo tijelo. Liječniku a ne uraru sličan je fizičar zadužen da ispravi jednu šepavu teoriju.

§ III — U fizici je nemoguć „experimentum crucis“

Zadržimo se još na ovome, jer dotičemo jednu od bitnih točaka eksperimentalne metode kako se ona upotrebljava u fizici.

Svođenje na absurd, koje se čini kao da je samo način opovrgavanja, može postati metoda dokazivanja: da se dokaze

da je jedan stav istinit dovoljno je dovesti do neke absurdne konzekvence onoga koji prihvaca stav kontradiktoran tom stavu. Zna se koliku su korist grčki geometri izvlačili iz tog načina dokazivanja.

Oni koji izjednačuju eksperimentalnu proturječnost sa svodenjem na absurd misle da je u fizici moguće upotrijebiti argument sličan onome kojim se Euklid tako često služio u geometriji. Želite li dobiti neko sigurno, neprijeporno teorijsko objašnjenje određene skupine pojava? Nabrojte sve hipoteze koje je moguće iznijeti da se objasni ta skupina pojava; potom eksperimentalnom proturječnošću eliminirajte ih sve osim jedne; ta posljednja prestat će biti hipotezom i postat će izvjesnost.

Prepostavite, na primjer, da su prisutne samo dvije hipoteze; tražite takve eksperimentalne uvjete da jedna od tih hipoteza najavljuje nastanak jedne pojave a druga nastanak sasvim različite pojave; ostvarite te uvjete i promatrajte što se zbiva; prema tome da li opazite prvu od predviđenih pojava ili drugu osudit ćete drugu hipotezu ili prvu; ona koja ne bude osuđena bit će odsada neprijeporna; spor će biti zaključen i jedna će nova istina biti stečena za Znanost. Takav je eksperimentalni dokaz koji je autor *Novog organona* nazvao „*križnom činjenicom*“, posudjujući taj izraz od križeva koji na uglovima cesta naznačuju različite putove“.

Postoje dvije hipoteze u vezi s prirodom svjetlosti: za Newtona, za Laplacea, za Biota svjetlost se sastoji od projektila izbačenih ekstremnom brzinom; za Huygensa, za Younga, za Fresnela svjetlost se sastoji od vibracija čiji se valovi šire kroz eter. Te su dvije hipoteze jedine čija se mogućnost nazire: ili je kretanje nošeno tijelom koje ga doživljava i s kojim ostaje vezano, ili prelazi s jednog tijela na drugo. Slijedimo prvu hipotezu: ona nam najavljuje da se svjetlost kreće brže u vodi nego u zraku. Slijedimo drugu: ona nam najavljuje da se svjetlost kreće brže u zraku nego u vodi. Postavimo Foucaultovu spravu; stavimo u pokret rotirajuće zrcalo; pred našim očima oblikovat će se dvije svjetlosne mrlje, jedna bezbojna, druga zelenkasta. Je li zelenkasti pojas lijevo od bezbojnog pojasa? To znači da se svjetlost brže kreće u vodi nego u zraku i da je valna hipoteza pogrešna. Sto ako je, naprotiv, zelenkasti pojas desno od bezbojnoga? To znači da se svjetlost brže kreće u zraku nego u vodi i da je hipoteza emisije osuđena. Gledamo kroz povećalo koje služi za promatranje dviju svjetlosnih mrlja i konstatiramo da je zelenkasta mrlja desno od bezbojne: spor je riješen, svjetlost nije

tijelo nego je vibracijsko gibanje koje se širi kroz eter; hipoteza emisije je mrtva i valna hipoteza ne može biti stavljena u sumnju. Krucijalni eksperiment učinio ju je novim člankom znanstvenog *Creda*.

Ono što smo rekli u prethodnom odlomku pokazuje koliko bismo se prevarili pripisujući Foucaultovu eksperimentu tako jednostavan smisao i tako odlučujući značaj. Foucaultov eksperiment ne odlučuje između dviju hipoteza, hipoteze emisije i valne hipoteze, nego odlučuje između dva teorijska skupa od kojih svaki treba biti uzet u cijelini, između dva potpuna sistema, Newtonove optike i Huygensove optike.

Ali prepostavimo za trenutak da je u svakom od tih sistema sve neumitno, da je nužno po logičkoj nužnosti sve osim jedne jedine hipoteze; prepostavimo, u skladu s time, da činjenice, osudjujući jedan od tih dvaju sistema, osuduju s izvjesnošću jedinu sumnju prepostavku koju on sadrži. Proizlazi li odatle da se može u *experimentumu crucis* naći neoboriv postupak da se transformira u dokazanu istinu jedna od dviju hipoteza koje su pred nama isto kao što redukcija na absurd jednoga geometrijskog stava donosi izvjesnost njemu kontradiktornom stavu? Između dva geometrijska teorema koji su međusobno kontradiktorni nema mjesta za neki treći sud; ako je jedan neistinit, drugi je nužno istinit. Čine li dvije fizičke hipoteze ikada jednu tako strogu dilemu? Hoćemo li se ikada usuditi da ustvrdimo da nije zamisliva nijedna druga hipoteza? Svjetlost može biti rafal projektila; ona može biti vibracijsko kretanje čije valove širi neka elastična sredina; je li njoj zabranjeno da bude bilo što drugo? Arago je bez sumnje to mislio kad je formulirao ovu odlučnu alternativu: Kreće li se svjetlost brže u vodi nego u zraku? „Svjetlost je tijelo. Ako se događa suprotno, svjetlost je val.“ Ali nama bi bilo teško izraziti se u jednom tako odlučnom obliku. Doista, Maxwell nam je pokazao da se isto tako dobro svjetlost može pripisati jednom periodičkom električnom poremećaju koji se širi unutar neke sredine nevodiča elektriciteta.

Eksperimentalna kontradikcija nema — kao svodenje na absurd koje upotrebljavaju geometri — moć da transformira jednu fizičku hipotezu u neospornu istinu; da bismo joj tu moć dali, trebalo bi iscrpno nabrojiti raznovrsne hipoteze koje bi mogla dopustiti određena skupina pojava; ali fizičar nikada nije siguran da je iscrpio sve zamislive prepostavke; istinitost jedne fizičalne teorije ne odlučuje se glavom ili pismom.

§ IV — Kritika newtonovske metode. — Prvi primjer: nebeska mehanika.

Iluzorno je težiti da se pomoću eksperimentalne kontradikcije konstruira neka argumentacija koja oponaša svodenje na absurd; ali da bi dospjela do izvjesnosti, geometrija poznaće drugačijih sredstava nego što je to postupak *per absurdum*; izravno dokazivanje, gdje se istinitost jednog stava ustanavljuje njom samom a ne opovrgavanjem njemu kontradiktornog stava, njoj se čini najsvršenijim rasudivanjem. Možda bi fizikalna teorija bila sretnija u svojim pokušajima kad bi nastojala oponašati izravno dokazivanje. Hipoteze počevši od kojih će ona razvijati svoje zaključke morale bi tada biti provjeravane jedna po jedna; nijedna od njih ne bi smjela biti prihvaćena sve dok ne pokaže svu izvjesnost što je eksperimentalna metoda može dati nekom apstraktnom i općenitom stavu; to jest, svaki će stav nužno biti ili zakon izведен iz opažanja jedino upotrebom tih dviju intelektualnih operacija koje se nazivaju indukcijom i generalizacijom, ili, pak, zaključak matematički izведен iz takvih zakona; teorija zasnovana na takvim hipotezama ne bi više pokazivala ništa proizvoljno niti dvojbeno; ona bi zaslужivala sve ono povjerenje kojega su dostojne sposobnosti koje nam služe da formuliramo prirodne zakone.

Takvu je fizikalnu teoriju Newton obasipao hvalom kad je u *Scholium generale*, koji je kruna njegovih *Principa*, tako odlučno izbacivao iz prirodne filozofije svaku hipotezu koju indukcija nije ni na koji način izvukla iz eksperimenta i kad je tvrdio da u valjanoj fizici svaki stav mora biti izведен iz pojave i generaliziran indukcijom.

Idealna metoda što smo je netom opisali zaslужuje, dakle, s punim pravom da bude nazvana newtonovskom metodom. Uostalom, nije li je se Newton držao kad je uspostavio sistem sveopćeg privlačenja dodajući tako svojim pravilima najgrandiozniji primjer? Ne izvodi li se njegova teorija gravitacije sva iz zakona što ih je opažanje otkrilo Kepleru, zakona koje problematično rasudivanje transformira i čije konzekvene indukcija generalizira?

Ovaj prvi Keplerov zakon: „Radius vektor koji ide od Sunca do planeta prelazi površinu proporcionalnu vremenu u kojem se opaža kretanje tog planeta“ naučio je, naime, Newtona da je svaki planet stalno podvrgnut sili u pravcu Sunca.

Drugi Keplerov zakon: „Orbita svakog planeta je elipsa kojoj je Sunce jedno od žarišta“ poučio ga je da sila koja pri-

vlači određeni planet varira s udaljenošću tog planeta od Sunca i da je ona u obrnutu omjeru s kvadratom te udaljenosti.

Treći Keplerov zakon: „Kvadrati trajanja revolucije različitih planeta proporcionalni su kubusima velikih osi njihovih orbita“ pokazao mu je da bi različiti planeti, dovedeni na istu udaljenost od Sunca, bili od strane te zvijezde izloženi privlačenjima proporcionalnim njihovim masama.

Eksperimentalni zakoni ustanovljeni od Keplera, transformirani geometrijskim rasuđivanjem, donose sva obilježja koja pokazuju djelovanje što ga Sunce vrši na neki planet; Newton indukcijom generalizira dobiveni rezultat; on pretpostavlja da taj rezultat izražava zakon po kojemu ma koji dio materije djeluje na ma koji drugi dio i formulira sljedeći veliki princip: „Bilo koja dva tijela uzajamno se privlače silom koja je proporcionalna umnošku njihovih masa a u obrnutu razmjeru s kvadratom udaljenosti koja ih razdvaja“. Princip univerzalne gravitacije je pronađen, do njega se došlo bez upotrebe bilo koje fiktivne hipoteze, induktivnom metodom čiji je plan zacrtao Newton.

Ispitajmo pobliže primjenu newtonovske metode, pogledajmo hoće li nešto stroža logička analiza ostaviti i dalje izgled strogosti i jednostavnosti što joj ga pridaje ovo odveć sumarno izlaganje.

Da ovom raspravljanju osiguramo svu potrebnu jasnoću, započinimo prisjećajući se onog principa, dobro poznatog svima onima koji se bave mehanikom: ne bi se moglo govoriti o sili koja privlači neko tijelo u danim okolnostima prije nego što smo naznačili pretpostavljeno fiksnu referencijalnu točku u odnosu na koju se govori o kretanju svih tijela. Kad se mijenja ta točka usporedbe, sila koja predstavlja proizvedeni učinak na promatrano tijelu od drugih tijela kojima je okruženo mijenja smjer i veličinu prema pravilima što ih s točnošću iskazuje mehanika.

Pošto je to izloženo, pratimo Newtonovo rasuđivanje.

Newton najprije uzima Sunce kao nepokretnu točku usporedbe. On razmatra kretanja koja odlikuju razne planete u odnosu na tu točku. On pretpostavlja da tim kretanjima upravljaju Keplerovi zakoni i odatle izvlači sljedeći stav: ako je Sunce točka usporedbe u odnosu na koju se mijere sve sile, svaki je planet podvrgnut sili u pravcu Sunca, proporcionalnoj masi tog planeta i u obrnutu omjeru s kvadratom udaljenosti od Sunca. Što se tiče te zvijezde, budući da je uzeta za točku usporedbe, ona nije podvrgnuta nijednoj sili.

Newton na analogan način proučava kretanje satelita i za svaki od njih kao nepokretnu točku usporedbe odabire pla-

net koji satelit prati, Zemlju ako se radi o proučavanju kretanja Mjeseca, Jupiter ako se bavimo masama oko tog planeta. Zakoni posve slični Keplerovima uzeti su kao pravila tih kretanja; odatile proizlazi da se može formulirati sljedeći novi stav: ako se uzme kao nepokretna točka usporedbe planet koji neki satelit prati, taj je satelit podvrgnut sili u pravcu tog planeta i u obrnutu razmjeru od kvadrata udaljenosti od tog planeta. Ako, kao što je slučaj s Jupiterom, isti planet ima više satelita, ti sateliti, dovedeni na istu udaljenost od tog planeta, sa svoje bi strane bili izloženi silama proporcionalnim svojim masama. Što se tiče tog planeta, on nije izložen nikakvu djelovanju od strane satelita.

Takvi se stavovi u veoma preciznom obliku mogu formulirati na osnovu Keplerovih zakona koji se odnose na kretanje planeta i na osnovi proširenja tih zakona na kretanje satelita. Umjesto tih stavova Newton je naveo jedan drugi koji se može ovako izraziti: ma koja dva nebeska tijela vrše jedno na drugo privlačno djelovanje po pravcu koji ih povezuje, proporcionalno umnošku njihove mase i u obrnutu omjeru od kvadrata udaljenosti koja ih razdvaja. Taj iskaz pretpostavlja da se sva kretanja i sve sile odnose na istu točku usporedbe; ta je točka idealan orientir što ga geometar može dobro zamisliti, ali čiji položaj na nebu nijedno tijelo ne označuje na točan i konkretan način.

Je li taj princip univerzalne gravitacije jednostavna generalizacija dvaju iskaza što su ih pružili Keplerovi zakoni i njihovo proširenje na kretanje satelita? Može li indukcija izvući taj princip iz tih dvaju iskaza? Nikako. U stvari, on nije samo općenitiji od tih dvaju iskaza i nije samo heterogen u odnosu na njih nego je u proturječju s njima. Ako prihvati princip univerzalnog privlačenja, proučavalac mehanike može izračunati veličinu i smjer sile koje djeluju na različite planete i Sunce kad se Sunce uzme za točku usporedbe, ali i on tada otkriva da te sile nikako nisu onakve kakve bi zahtijevao naš prvi iskaz. On može odrediti veličinu i smjer svake od sile koje djeluju na Jupiter i njegove satelite kad se sva ta gibanja dovode u vezu s tim planetom za koji se pretpostavlja da je nepokretan, ali on tada konstatira da te sile nikako nisu onakve kakve bi zahtijevao naš drugi iskaz.

Dakle, suprotno pretpostavci da bi se princip univerzalne gravitacije mogao generalizacijom i indukcijom izvesti iz opažajnih zakona koje je formulirao Kepler, on formalno protutječi tim zakonima. Ako je Newtonova teorija točna, Keplerovi su zakoni nužno neistiniti.

Ne prenose, dakle, zakoni što ih je Kepler izveo iz promatranja nebeskih gibanja svoju neposrednu eksperimentalnu izvjesnost na princip univerzalne sile teže, jer obrnuto, kad bi se priznavala apsolutna točnost KeplEROVih zakona, bili bismo prisiljeni odbaciti stav na kojem Newton zasniva nebesku mehaniku. Daleko od toga da se poziva na Keplerove zakone, fizičar koji hoće opravdati teoriju univerzalne gravitacije ponajprije nalazi u tim zakonima jedan prigovor koji treba razriješiti: on mora dokazati da njegova teorija, nespojiva s točnošću tih zakona, podvrgava gibanja tih planeta i satelita drugim zakonima dovoljno malo različitima od onih prvih da Tycho Brahe, Kepler i njihovi suvremenici nisu mogli lučiti odstupanja kojima se keplerovske orbite razlikuju od newtonovskih; taj se dokaz izvodi iz okolnosti što je sunčeva masa veoma velika u odnosu na mase različitih planeta i što je masa jednog planeta veoma velika u odnosu na mase satelita.

Ako, dakle, izvjesnost Newtonove teorije ne proizlazi iz izvjesnosti KeplEROVih zakona, kako će ta teorija dokazati svoju valjanost? Ona će izračunati, sa svom približnom točnošću što je dopuštaju neprestano usavršavane algebarske metode, *perturbacije* koje u svakom trenutku pomjeraju svako od nebeskih tijela od orbite koju bi joj propisivali KeplEROVi zakoni; zatim će ona usporediti izračunane perturbacije s perturbacijama koje su bile opažene pomoću najpreciznijih instrumenata i najtočnijih metoda. Takva usporedba neće se odnositi samo na ovaj ili onaj dio newtonovskog principa nego će uključivati sve njegove dijelove u isto vrijeme; skupa s njim ona će uključivati i sve principe dinamike; osim toga, pozvat će u pomoć sve stavove optike, statike plinova, teorije topline koji su nužni za opravdavanje svojstava teleskopa, za njihovo konstruiranje, za njihovo podešavanje, za njihovo korigiranje, za eliminiranje grešaka prouzročenih dnevnom ili godišnjom aberacijom i atmosferskim prelamanjem. Ne radi se više o tome da se uzimaju jedan po jedan zakoni opravdani opažanjem i da se svaki od njih indukcijom i generalizacijom uzdiže na rang principa; radi se o uspoređivanju konzervenci cijelog jednog skupa hipoteza s cijelim jednim skupom činjenica.

Ako sad potražimo razloge koji su doveli do neuspjeha newtonovske metode u ovom slučaju za koji je bila smisljena i za koji se činilo da je njezina najsavršenija primjena, naći ćemo ih u toj dvostrukoj naravi svakog zakona kojim se poslužila teorijska fizika: taj je zakon simboličan i on je približan.

Bez sumnje, KeplEROvi se zakoni odnose prilično direktno na same predmete astronomskog promatranja; oni su onoliko malo simbolični koliko je to uopće moguće. Ali u tom čisto eksperimentalnom obliku oni ostaju neprikladni za to da sugeriraju princip univerzalne sile teže; da bi stekli tu plodnosnost, treba da budu transformirani da bi pokazali osobine sile kojima Sunce privlači razne planete.

Ali taj je novi oblik KeplEROVih zakona jedan simbolički oblik; jedino dinamika daje smisao riječima *sila* i *masa* koje omogućuju njegovo iskazivanje; jedino dinamika dopušta da se navedu nove simboličke formule umjesto starih realističkih formula, da se navedu iskazi koji se odnose na *sile* i na *mase* umjesto zakona koji se odnose na orbite. Legitimnost takve zamjene podrazumijeva puno povjerenje u zakone dinamike.

A da se opravlja to povjerenje nećemo tvrditi da su zakoni dinamike bili izvan sumnje u času kad se Newton njima poslužio da simbolički prevede KeplEROve zakone i da su od eksperimenta dobili potvrdu dovoljnu da pridobije slaganje razuma. U stvari, oni su dotada bili podvrgnuti samo vrlo grubim provjerama; čak su i njihovi iskazi ostali veoma neodređeni i veoma uvijeni; samo su u knjizi *Principi* bili po prvi puta formulirani na precizan način; tek su u slaganju činjenica s nebeskom mehanikom, koje je proizшло iz newtonovih radova, oni dobili svoje prve uvjerljive verifikacije.

Tako je prijevod Newtonovih zakona u simboličke zakone, jedine koji su korisni teoriji, pretpostavljaо prethodno prihvaćanje fizičara cijelog jednog skupa hipoteza. Ali osim toga kako su KeplEROVi zakoni bili samo približni zakoni, dinamika je dopuštala da se dade bezbroj njihovih različitih simboličkih prijevoda. Između tih beskonačno mnogo različitih oblika ima jedan i samo jedan koji se slaže s Newtonovim principom. Promatranja Tycha Brahe, koja je Kepler tako sretno sveo na zakone, dopuštaju teoretičaru da odabere taj oblik; ali ona ga ne sile na to; ona bi mu podjednako dopustila da odabere bezbroj drugih.

Teoretičar se, dakle, ne može zadovoljiti navođenjem KeplEROVih zakona da opravlja svoj izbor. Ako hoće dokazati da je princip što ga je usvojio uistinu princip prirodne klasifikacije za nebeska gibanja, treba da pokaže da se opažene perturbacije slažu s onima koje je on unaprijed izračunao i treba da po kretanju Urana izvede zaključak o postojanju i položaju jednog novog planeta te da u naznačenu pravcu na vrhu svog teleskopa pronađe Neptun.

§ V — Kritika newtonovske metode (nastavak). — Drugi primjer: elektrodinamika.

Poslije Newtona nitko nije jasnije od Ampèrea izjavio da svu fizikalnu teoriju treba izvoditi iz iskustva jedino po moću indukcije; nijedno djelo nije točnije oblikovano prema *Philosophiae naturalis Principia mathematica* nego njegova *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques uniquement déduite de l'expérience*.

„Epoha što su je Newtonovi radovi obilježili u povijesti znanosti nije samo epoha najvažnijih otkrića što ih je čovjek izvršio o uzrocima velikih prirodnih pojava; to je također epoha u kojoj je ljudski duh sebi otvorio nov put u znanostima koje imaju za predmet proučavanje tih pojava.“ Tim riječima Ampère započinje izlaganje svoje *Théorie mathématique*, a nastavlja sljedećim riječima:

„Newton je bio daleko od toga da misli, da bi zakon o univerzalnoj sili teže bilo moguće otkriti polazeći od manje ili više plauzibilnih apstraktnih razmatranja. On je ustanovio da ga treba izvesti iz opaženih činjenica ili, bolje rekavši, iz onih empirijskih zakona koji su, kao Keplerovi zakoni, samo generalizirani rezultati jednog velikog broja činjenica.

Najprije promatrati činjenice, varirati koliko je god moguće okolnosti njihova pojavljivanja, uz taj primarni posao vršiti precizna mjerjenja da bi se odatle izveli opći zakoni utemeljeni jedino na iskustvu i da bi se iz tih zakona, nezavisno o svakoj hipotezi o prirodi sila koje proizvode te pojave, izvela matematička vrijednost tih sila, to jest formula koja ih prikazuje, to je put kojim je išao Newton. On je bio općenito uvezši, usvojen u Francuskoj od učenjaka kojima fizika duguje ogroman napredak što ga je ostvarila u ovo posljednje vrijeme i taj mi je put poslužio kao vodič u svim mojim istraživanjima elektrodinamičkih pojava. Konzultirao sam jedino iskustvo da ustanovim zakone tih pojava a odatle sam izveo formulu koja jedina može prikazati sile koje su njihov uzrok; nisam izvršio nikakvo istraživanje o samom uzroku što ga se može pripisati tim silama sasvim uvjeren da svakom istraživanju te vrste treba da prethodi čisto eksperimentalna spoznaja zakona i utvrđivanje vrijednosti elementarne sile izvedeno jedino iz tih zakona.“

Nije potrebna pažljiva niti jako oštromorna kritika da se uvidi da *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques* nimalo ne postupa u skladu s metodom koju joj Ampère pripisuje, da ona nije izvedena jedino iz iskustva. Izkustvene činjenice, uzete u svojoj primitivnoj sirovosti, ne

bi mogle poslužiti matematičkom zaključivanju; da bi pružile materijal tom zaključivanju one moraju biti transformirane i stavljene u simbolički oblik. Ampère ih podvrgava toj transformaciji. On se ne zadovoljava time da svede metalne sprave kojima kruže struje u jednostavne geometrijske likove; takvo izjednačavanje nameće se odveć prirodno a da bi se izlagalo ozbiljnoj sumnji. Isto tako on se ne zadovoljava upotrebotom pojma sile, posuđenog od mehanike i raznih teorema koji čine tu znanost; u epohi u kojoj on piše ti se teoremi mogu smatrati nespornim. Osim toga, poziva se na cijeli skup potpuno novih, potpuno nedokazanih hipoteza, ponekad čak ponešto iznenadujućih. Među tim hipotezama posebno treba spomenuti intelektualnu operaciju kojom on raščlanjuje na beskrajno male elemente električnu struju koja u stvarnosti ne može biti prekinuta a da ne prestane postojati; zatim pretpostavku da se sva realna elektrodinamička djelovanja dadu rastaviti na fiktivna djelovanja koja uključuju parove što ih elementi struje tvore dva po dva; potom postulat da se uzajamna djelovanja dvaju elemenata svode na dvije sile koje djeluju na elemente po pravcu koji ih spaja, međusobno jednakе i izravno suprotstavljene; potom onaj drugi postulat da udaljenost između dvaju elemenata ulazi jednostavno u formulu njihova uzajamna djelovanja u obrnutu vrijednosti odredene potencije.

Te su različite pretpostavke tako malo očevidne, tako malo neizbjježive da ih je više bilo kritizirano ili odbačeno od Ampereovih sljedbenika; druge hipoteze, jednako prikladne za simboličko prevođenje fundamentalnih eksperimenata elektrodinamike, predložili su drugi fizičari; ali nijedan od njih nije uspio dati taj prijevod bez formuliranja nekog novog postulata i bilo bi absurdno kada bi netko tvrdio da je to postigao.

Nužda u kojoj se nalazi fizičar da simbolički prevede eksperimentalne činjenice prije nego što ih uvede u svoja rasuđivanja čini za nj neupotrebljivim čisto induktivni put što ga je utro Ampère; taj mu je put i zabranjen zato što svaki od opažajnih zakona nije točan nego naprosto približan.

Ampereovi eksperimenti imaju najgrublji stupanj aproksimacije. O opaženim činjenicama on daje simbolički prijevod primjerem napretku njegove teorije; ali koliko bi mu bilo lako iskoristiti neizvjesnost opažanja da dade jedan posve različit njihov prijevod! Poslušajmo Wilhelma Webera⁵:

⁵ Wilhelm Weber: *Elektrodynamische Massbestimmungen*, Leipzig 1846 — Prevedeno u *Collection de Mémoires relatifs à la Physique* koju je objavila Société française de Physique; sv. III: *Mémoires sur l'Électrodynamique*.

„Ampèreu je bilo stalo do toga da izričito naznači u nizu svoje rasprave da je njegova matematička teorija elektrodinamičkih pojava *izvedena isključivo iz eksperimenta* i u njoj se doista nalazi u detalje izložena njegova metoda koliko jednostavna toliko ingeniozna, koja ga je dovela njegovu cilju. U njoj se nalazi sa svom poželjnom opširnošću i preciznošću izlaganje njegovih eksperimenata, izvodenje koje on odatle izvlači za svoju teoriju i opis instrumenata koje upotrebljava. Ali u fundamentalnim eksperimentima poput onih o kojima je ovdje riječ nije dovoljno naznačiti opći smisao nekog eksperimenta, opisati instrumente kojima smo se poslužili da ga izvedemo i reći na jedan općenit način da je eksperiment dao rezultat koji se očekivao; neophodno je ući u detalje samog eksperimenta, reći koliko je puta bio ponavljan, kako su bili modificirani njegovi uvjeti i koji je bio učinak tih modifikacija; jednom riječju, dostaviti neku vrstu zapisnika o svim okolnostima kojih dopušta čitaocu da dođe do suda o stupnju pouzdanosti i izvjesnosti rezultata. Ampère uopće ne daje te precizne pojedinosti o svojim eksperimentima i dokazivanje fundamentalnog zakona elektrodinamike još čeka tu neophodnu dopunu. Činjenica uzajamna privlačenja dviju žica-vodiča bila je verificirana mnogo i mnogo puta i potpuno je nesporna; ali te su verifikacije bile uvijek vršene u takvim uvjetima i takvim sredstvima da nikakvo kvantitativno mjerjenje nije bilo moguće i ta mjerjenja ni izdaleka nisu postigla stupanj preciznosti koji bi bio nužan da se zakon o tim pojavama može smatrati dokazanim.

Više nego jednom Ampère je iz *odsustva* bilo kakvog elektrodinamičkog djelovanja izvlačio iste konzekvenke kao iz jednog mjerjenja koje bi mu dalo rezultat jednak *nuli* i na taj način, uz veliku oštromost i još veću umješnost, uspio je ujediniti podatke nužne za uspostavljanje i dokazivanje svoje teorije; ali ti *negativni* eksperimenti kojima se treba zadovoljiti u odsutnosti izravnih *pozitivnih* mjerjenja“, ti eksperimenti gdje svi pasivni otpori, sva trenja, svi uzroci pogrešaka teže upravo tome da proizvedu učinak koji se želi opažati, „ne mogu imati svu onu vrijednost niti dokaznu snagu onih pozitivnih mjerjenja, osobito kad ona nisu postignuta postupcima i u uvjetima istinskih mjerjenja, što bi, uostalom, bilo nemoguće učiniti instrumentima koje je upotrebljavao Ampère“.

Tako malo precizni eksperimenti prepuštaju fizičaru brigu da izabere među jednim bezbrojem podjednako mogućih simboličkih prijevoda; oni ne daju nikakvu izvjesnost izboru koji nikako ne nameće; intuicija, koja pogada oblik teorije koju treba uspostaviti, jedina upravlja tim izborom. Ta je uloga

intuicije posebno važna u Ampèreovu djelu: dovoljno je prelistati spise tog velikog geometra da se uvidi da je svoju fundamentalnu formulu elektrodinamike u potpunosti pronašao nekom vrstom nagađanja, da su eksperimenti što ih je navodio bili zamisljeni naknadno i kombinirani sasvim namjerno da bi mogao izložiti po newtonovskoj metodi jednu teoriju koju je konstruirao nizom postulata.

Ampère je uostalom imao odveć iskrenosti a da bi sasvim svjesno prikrio ono što je njegovo izlaganje, u potpunosti *izvedeno iz eksperimenta*, imalo umjetnoga; na kraju svoje *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques* on piše sljedeće retke: „Mislim da završavajući ovu raspravu moram primijetiti da još nisam imao vremena da dam konstruirati instrumente prikazane na slici 4 prve tablice i slici 20 druge tablice. Eksperimenti kojima su oni namijenjeni nisu, dakle, još bili urađeni.“ No prva od dviju sprava o kojima je tu riječ imala je za svrhu da realizira posljednji od četiri fundamentalna slučaja ravnoteže koji su poput stupova zgrade što ju je konstruirao Ampère; pomoću eksperimenta kojem je bila namijenjena ta sprava trebalo je utvrditi potenciju udaljenosti prema kojoj se odvijaju elektrodinamička djelovanja. Daleko, dakle, od toga da bi Ampèreova elektrodinamička teorija bila u potpunosti *izvedena iz eksperimenta*, eksperiment je imao veoma slab udio u njezinu formiranju; on je bio samo prigoda koja je probudila intuiciju genijalnog fizičara a ta je intuicija učinila ostalo.

Istraživanjima Wilhelma Webera bila je posve intuitivna Ampèreova teorija prvi put podvrgnuta brižljivoj usporedbi s činjenicama. Ali ta usporedba nije bila nikako izvedena newtonovskom metodom. Iz Ampèreove teorije uzete u cjelini Weber je izveo neke učinke koji su se mogli izračunati; teoremi statike i dinamike, štoviše, čak i neki stavovi optike dopustili su mu da smisli jednu spravu, elektrodinamometar, kojom su se ti isti učinci mogli podvrgnuti preciznim mjerjenjima. Slaganje računskih predviđanja s rezultatima mjerjenja ne potvrđuje tada više taj i taj izdvojeni stav Ampèreove teorije nego cito jedan skup elektrodinamičkih, mehaničkih i optičkih hipoteza na koje se treba pozvati da se interpretira svaki od Weberovih pokusa.

Ondje, dakle, gdje Newton nije uspio, Ampère se, sa svoje strane, spotaknuo i to još jače. To znači da dva neizbjegiva grebena čine za fizičara neupotrebljivim čisto induktivan put. Na prvome mjestu, nijedan eksperimentalni zakon ne može teoretičaru poslužiti prije nego što je pretrpio interpretaciju koja ga transformira u simbolički zakon; a ta interpretacija

implicira prihvatanje cijelog skupa teorija. Na drugome mjestu, nijedan eksperimentalni zakon nije točan, on je samo približan; on je, dakle, podložan bezbroju različitih simboličkih prijevoda; a među svim tim prijevodima fizičar mora odabratи onaj koji će teoriji pribaviti jednu plodonosnu hipotezu a da pri tome eksperiment nikako ne upravlja njegovim izborom.

Ta nas kritika newtonovske metode vodi natrag zaključcima do kojih nas je već dovela kritika eksperimentalne kontradikcije i krucijalnog eksperimenta. Ti zaključci zaslužuju da ih jasno formuliramo. Evo ih:

Nastojati odvojiti svaku od hipoteza teorijske fizike od ostalih pretpostavki na kojima počiva ta znanost da bi je se izdvojeno podvrglo provjeri opažanja znači tragati za himerom; jer realizacija i interpretacija ma kojeg fizikalnog eksperimenta implicira prihvatanje cijelog jednog skupa teorijskih stavova.

Jedina eksperimentalna provjera fizikalne teorije koja ne bi bila nelogična sastoji se u uspoređivanju ČITAVA SISTEMA FIZIKALNE TEORIJE S ČITAVIM SKUPOM EKSPERIMENTALNIH ZAKONA i u prosudivanju da li prvi prikazuje onaj drugi na zadovoljavajući način.

§ VI — Posljedice u vezi s predavanjem fizike

Suprotno onome što smo se trudili ustanoviti, općenito se smatra da svaka hipoteza fizike može biti odvojena od celine i izdvojeno podvrgnuta eksperimentalnoj provjeri; prirodno, iz tog pogrešnog principa izvode se neistinite konzekvene u vezi s metodom po kojoj treba predavati fiziku. Željelo bi se da profesor svrsta sve hipoteze fizike nekim određenim redoslijedom, da uzme prvu, da je iskaže riječima, da izloži njezine eksperimentalne verifikacije, zatim, kad te verifikacije budu smatrane dovoljnima, da hipotezu proglaši prihvaćenom; još bolje, željelo bi se da on tu prvu hipotezu formulira generalizirajući pomoću indukcije jedan čisto eksperimentalni zakon; ponovo bi počeo tu operaciju s drugom hipotezom, s trećom i tako redom sve dok fizika ne bude u potpunosti konstituirana. Fizika bi se predavala onako kako se predaje geometrija: hipoteze bi slijedile jedna za drugom onako kako teoremi slijede jedan za drugim. Eksperimentalna provjera svake pretpostavke zamijenila bi dokazivanje svakog stava; ne bi se tvrdilo ništa što nije izvedeno iz činjenica ili što činjenice nisu smjesta opravdale.

Takov je ideal što ga sebi postavljaju mnogi profesori a za koji više njih možda i misle da su ga dostigli.

U nagovaranju da se teži za tim idealom ne nedostaju autoritativni glasovi: „Važno je“, kaže gosp. H. Poincaré⁶, „da se hipoteze ne umnažaju preko mjere i da se stvaraju samo jedna za drugom. Ako konstruiramo jednu teoriju utemeljenu na brojnim hipotezama i ako je eksperiment osudi, koja je između naših premissa ona koju treba mijenjati? Bit će nemoguće da to znamo. I obrnuto, ako eksperiment uspije, hoćemo li misliti da smo verificirali sve te hipoteze odjednom? Hoćemo li misliti da smo samo jednom jednadžbom utvrdili više nepoznanica?“

Napose čisto induktivnu metodu kojoj je Newton formulirao zakone navode mnogi fizičari kao jedinu metodu koja dopušta racionalno izlaganje znanosti o prirodi: „Znanost koju ćemo stvoriti“, kaže Gustave Robin⁷, „bit će samo kombinacija jednostavnih indukcija što ih sugerira eksperiment. Što se tiče tih indukcija, formulirat ćemo ih uvijek iskazima koje je lako zapamtiti, koji se dadu izravno verificirati, ne gubeći nikad izvida da jedna hipoteza može biti verificirana samo po svojim konzekvencama.“ Ta se newtonovska metoda preporučuje, ako ne i propisuje, onima kojima je zadatak da predaju fiziku u srednjoškolskoj nastavi. „Postupci matematičke fizike“, kaže im se⁸, „neprimjereni su za srednjoškolsku nastavu; oni se sastoje u polaženju od hipoteza ili definicija postavljenih a priori da bi se odatle izvlačile dedukcije koje će biti podvrgнутne eksperimentalnoj provjeri. Ta metoda može odgovarati razredu specijaliziranom za matematiku, ali u krivu smo ako je sada primjenjujemo u elementarnoj nastavi iz mehanike, hidraulike i optike. Zamjenimo je induktivnom metodom.“

Rasprave što smo ih izložili ustanovile su i više nego dovoljno slijedeću istinu: induktivna metoda, upotreba koje se preporučuje fizičaru, za nj je isto tako neupotrebljiva kao što je to za matematičara ona savršena deduktivna metoda koja bi se sastojala u definiranju svega i dokazivanju svega, ta metoda za kojom čini se da neki geometri strastveno tragaju premda joj je Pascal odavno izrekao ispravnu i strogu osudu. Sasvim je, dakle, jasno da će oni koji tvrde da izlažu po toj metodi niz principa fizike neizbjegno o njoj dati izvještaj koji će biti u nekoj točki pogrešan.

⁶ H. Poincaré: *Science et Hypothèse*, str. 179.

⁷ G. Robin: *Oeuvres scientifiques, Thermodynamique générale*. Uvod, str. XII. Paris 1901.

⁸ Primjedba u predavanju M. Jouberta, generalnog inspektora srednjoškolskog obrazovanja. (*L'Enseignement secondaire*, 15. travnja 1903).

nje fizičko značenje. Tek kad nas to raspravljanje dovede do niza stavova trebat će da te stavove podvrgnemo provjeri pomoću činjenica; tada ćemo ispitati da li se, u granicama unutar kojih se absolutna temperatura može prevesti u konkretnе termometarske oznake i tamo gdje se ideja o savršenom plinu gotovo ostvarila preko fluida koje opažamo, zaključci naše rasprave slažu s rezultatima eksperimenta.

Zahtijevajući da matematičke operacije pomoću kojih postulati proizvode svoje konzekvene uvijek imaju fizičko značenje, geometru se nameću nepodnošljive zapreke koje paraliziraju sve njegove korake; G. Robin čak dolazi dotle da stavlja u sumnju upotrebu diferencijalnog računa; u stvari, kad bi nastojao neprestano i skrupuljno udovoljavati tom zahtjevu, on gotovo više ne bi mogao izvesti nikakvo računanje; od svojih prviх koraka teorijska bi dedukcija bila zaustavljena. Jedna točnija ideja o fizikalnoј teoriji, jedno ispravnije razgraničenje između stavova koje treba podvrgnuti provjeri pomoću činjenica i onih koji su toga oslobođeni, vratit će geometru svu njegovu slobodu i dopustit će mu da za najveći razvoj fizikalnih teorija upotrebljava sva sredstva algebre.

§ VIII — Je li izvjesne postulate fizikalne teorije nemoguće eksperimentalno opovrgnuti?

Da je jedan princip točan raspoznaće se po lakoći kojom razmrsuje komplikirane neprilike do kojih nas dovodi upotreba pogrešnih principa.

Ako je, dakle, ideja koju smo iznijeli točna, ako se usporedba nužno uspostavlja između cjeline teorije i cjeline eksperimentalnih činjenica, moramo u svjetlu tog principa vidjeti kako nastaju nejasnoće u kojima bismo se izgubili kad bismo pretpostavljali da izdvojeno podvrgavamo provjeri pomoću činjenica svaku teorijsku hipotezu.

U prvom redu onih tvrdnja čiji ćemo paradoksalni izgled nastojati eliminirati navest ćemo jednu koja je ovih posljednjih godina često bila formulirana i komentirana. Pošto ju je najprije izrekao gosp. G. Milhaud¹⁴ u povodu čistog tijela kemije, potanko i snažno ju je razvio gosp. H. Poincaré¹⁵ u vezi

¹⁴ G. Milhaud: *La Science rationnelle* (*Revue de Métaphysique et de Morale*, 4. godište, 1898, str. 280). — *Le Rationnel*, Paris 1898, str. 45.

¹⁵ H. Poincaré: *Sur les Principes de la Mécanique* (Radovi Međunarodnog kongresa za filozofiju, III. Logika i povijest znanosti, Paris 1901, str. 457). — *Sur la valeur objective des théories physiques* (*Revue de Métaphysique et de Morale*, 10. godište, 1902, str. 263). — *La Science et l'Hypothèse*, str. 110.

s principima mehanike; gosp. Éd. Le Roy isto ju je tako formulisao¹⁶ velikom jasnoćom.

To je slijedeća tvrdnja:

Nekim fundamentalnim hipotezama fizikalne teorije ne bi mogao proturječiti nikakav eksperiment, jer one u stvarnosti predstavljaju definicije i jer izvjesni izrazi koje upotrebljava fizičar samo pomoću njih dobivaju svoje značenje.

Uzmimo jedan od primjera što ih citira gosp. Éd. Le Roy: kad jedno teško tijelo slobodno pada, ubrzanje njegova pada je konstantno. Može li jednom takvom zakonu proturječiti eksperiment? Ne, jer on upravo predstavlja definiciju onoga što treba razumjeti pod *slobodnim padom*. Kad bismo, proučavajući pad nekog teškog tijela, utvrdili da to tijelo ne pada jednoliko ubrzanim gibanjem, odatle ne bismo zaključili da je iskazani zakon neistinit, nego da tijelo ne pada slobodno, da neki uzrok ometa njegovo gibanje i odstupanja između iskazanog zakona i opaženih činjenica poslužila bi nam da otkrijemo taj uzrok i da analiziramo njegove posljedice.

Tako, zaključuje gosp. Éd. Le Roy, „ako stvari uzmemo sa svom strogošću, zakoni su neprovjerivi, jer oni predstavljaju upravo kriterij prema kojem se prosuđuju pojave i metode koje bi trebalo upotrijebiti da ih se podvrgne provjeravanju čija preciznost može premašiti svaku danu granicu“.

Uzmimo još detaljnije, u svjetlu prethodno postavljenih principa, tu usporedbu između zakona o padu tijela i eksperimenta.

Naša su nam svakodnevna opažanja pokazala čitavu jednu kategoriju gibanja koja smo približili jedna drugima pod imenom gibanja teških tijela; među tim se gibanjima nalazi pad teškog tijela kad mu ne smeta nikakva prepreka. Odatle proizlazi da riječi „slobodan pad teškog tijela“ imaju neki smisao za čovjeka koji se poziva samo na spoznaje zdrava razuma, koji nema pojma o fizikalnim teorijama.

S druge strane, da bi klasificirao gibanja o kojima se radi, fizičar je stvorio jednu teoriju, teoriju o sili teže, važnu primjenu racionalne mehanike. U toj teoriji namijenjenoj da dade simbolički prikaz stvarnosti isto je tako riječ o „slobodnom padu teškog tijela“. Slijedom hipoteza koje stoje u osnovi čitave te sheme slobodni pad nužno treba da bude jednoliko ubrzan pad.

¹⁶ Édouard Le Roy: *Un positivisme nouveau* (*Revue de Métaphysique et de Morale*, 9. godište, 1901, str. 143—144).

Riječi „slobodan pad teškog tijela“ imaju sada dva različita značenja. Za čovjeka koji ne zna fizikalne teorije one imaju svoje *stvarno* značenje, one znače ono što zdrav razum razumijeva kad ih izriče; za fizičara one imaju *simboličko* značenje, one znače „jednoliko ubrzan pad“. Teorija ne bi ispunjavala svoju svrhu kad drugo značenje ne bi nikako bilo znak prvoga, kad pad koji zdrav razum smatra slobodnim ne bi isto tako bio pad jednolika ili *gotovo jednolika* ubrzanja, pri čemu su konstatacije zdravog razuma u biti, kao što smo rekli, konstatacije lišene preciznosti.

Tako dolazi do tog slaganja bez kojeg bi teorija bila odbačena bez daljnog ispitivanja; pad koji zdrav razum proglašava *gotovo slobodnim* također je pad čije je ubrzanje *gotovo konstantno*. Ali konstatacija o tom slaganju, grubo približna, ne zadovoljava nas; hoćemo ići dalje i nadići stupanj preciznosti na koji može pretendirati zdrav razum. Pomoću teorije što smo je smislili kombiniramo sprave koje mogu utvrditi s točnošću da li pad nekog tijela jest ili nije jednoliko ubrzan; te nam sprave pokazuju da izvjestan pad, koji zdrav razum smatra slobodnim padom, ima ubrzanje koje pomalo varira. Stav koji u našoj teoriji daje riječi „slobodan pad“ njezino simboličko značenje ne prikazuje s dovoljnom točnošću svojstva stvarnog i konkretnog pada koji smo opažali.

Nude nam se, dakle, dva gledišta.

Na prvom mjestu, možemo izjaviti da smo imali pravo smatrati proučavani pad slobodnim i zahtijevati da teorijska definicija tih riječi bude u skladu s našim opažanjima; u tom slučaju, budući da naša teorijska definicija ne udovoljava tom zahtjevu, ona mora biti odbačena; treba da konstruiramo jednu drugu mehaniku na novim hipotezama, mehaniku u kojoj riječi „slobodan pad“ neće više značiti „jednoliko ubrzan pad“ nego „pad čije ubrzanje varira prema nekom određenom zakonu“.

Na drugome mjestu, možemo izjaviti da smo bili u krivu uspostavljući vezu između konkretnog pada koji smo opažali i simboličkog slobodnog pada koji je definirala naša teorija, da je ovaj drugi bio odveć pojednostavljena shema onoga prvog, da teoretičar, da bi adekvatno prikazao pad na koji se odnose naši eksperimenti, ne smije više zamišljati nešto teško kako slobodno pada, nego nešto teško ometano određenim preprekama kakva je otpor zraka, da će, prikazujući djelovanje tih prepreka pomoću podesnih hipoteza, on sastaviti jednu shemu komplikiraniju nego što je slobodan pad, ali prikladniju da reproducira pojedinosti eksperimenta; ukratko, prema jeku što smo ga prethodno utvrdili (glava IV, § 3) možemo

nastojati eliminirati pomoću primjereni *korekcija uzroke pogreške* kao što je otpor zraka koji su utjecali na naš eksperiment.

Gosp. Le Roy tvrdi da ćemo zauzeti drugo stanovište a ne prvo; u tome on zacijelo ima pravo. Uzroke koji će nam nalažati to opredjeljenje lako je otkriti. Zauzimajući prvo stanovište bili bismo obvezani da iz temelja uništimo veoma opsežan teorijski sistem koji na veoma zadovoljavajući način prikazuje veoma velik i veoma kompleksan skup eksperimentalnih zakona. Drugo stanovište, naprotiv, ne uzrokuje gubitak terena što ga je fizikalna teorija već osvojila; štoviše, ono je uspjelo u jednom tako velikom broju slučajeva tako da imamo osnove da računamo na nov uspjeh. Ali u tom pouzdanju pripisanom zakonu o padu teških tijela ne vidimo ništa analogno izvjesnosti koju geometrijska definicija izvlači iz same svoje biti, toj izvjesnosti po kojoj bi čovjek bio lud ako bi sumnjao da različite točke jedne kružnice nisu sve jednakod udaljene od njezina središta.

Ovdje nalazimo samo posebnu primjenu principa postavljena u § 2. Neslaganje između konkretnih činjenica koje sačinjavaju jedan eksperiment i simboličkog prikaza koji teorija navodi umjesto tog eksperimenta dokazuje nam da neki dio tog simbola treba odbaciti. Ali koji dio? To je ono što nam eksperiment ne kaže i to on ostavlja našoj dovitljivosti da pogodi. No između teorijskih elemenata koji ulaze u sastav tog simbola uvijek ima izvjestan broj takvih koje fizičari složno prihvataju bez provjere, koje oni smatraju nespornim. Prema tome, fizičar koji mora modificirati taj simbol modificirat će druge elemente a ne te.

Ali ono što navodi fizičara da tako postupa nikako nije logička nužnost; postupiti drugčije moglo bi značiti biti nevjest i loše nadahnut; ali onaj tko bi tako postupio ne bi išao stopama geometra dovoljno bezumna da proturječi svojim vlastitim definicijama; on ne bi uradio ništa absurdno. Štoviše, kada bi jednog dana možda postupio drugčije odbijajući da navede uzroke pogreške i da pribjegne korekcijama da bi ponovno uspostavio sklad između teorijske sheme i činjenice, unoseći odlučno reformu među stavove koji su po općem slaganju bili proglašavani nedodirljivima, on će ostvariti djelo genija koji teoriji otvara nove vidike.

Doista, trebalo bi se veoma čuvati od vjerovanja da su zaувijek opravdane te hipoteze koje su postale univerzalno prihvaćenim konvencijama i čija izvjesnost probija kroz eksperimentalnu kontradikciju koju prebacuje na druge, sumnjivije pretpostavke. Povijest fizike pokazuje nam da je ljudski um

često bio doveden do toga da iz temelja preokrene takve principi koji su stoljećima jednodušno smatrani nepovredivim aksiomima i da iznova izgradi svoje fizikalne teorije na novim hipotezama.

Da li je, na primjer, tisućljećima bilo jasnijeg i sigurnijeg principa nego što je slijedeći: u homogenoj sredini svjetlost se širi pravocrtno? Ta hipoteza nije bila samo u osnovi čitave antičke optike, katoptrike i dioptrike, čije su elegantne geometrijske dedukcije prikazivale po želji neizmijeran broj činjenica, nego je ona još postala, tako reći, fizikalna definicija pravca; na tu se definiciju morao pozvati svaki čovjek koji je želio povući pravac, tesar koji provjerava ravninu komada drveta, mјernik koji vrši poravnavanja pri trasiranju, geodet koji određuje smjer pomoću dioptera svog zbirnika, astronom koji definira orijentaciju zvijezda koje proučava pomoću optičke osi svog dalekozora. Međutim, došao je dan kad su se fizičari zasitili toga da pripisuju nekom uzroku pogrešne učinke difrakcije koje je opazio Grimaldi i kad su odlučili odbaciti zakon o pravocrtnom širenju svjetlosti te dati optici potpuno nove temelje; i ta je smiona odluka za fizikalnu teoriju bila nagoveštaj čudesnog napretka.

§ IX — Hipoteze čiji iskaz nema nikakva eksperimentalnog značenja

Taj primjer, kao i oni koje bi nam povijest znanosti dopustila povezati s njime, pokazuju nam da bismo bili veoma nepomišljeni ako bismo rekli u povodu neke danas općenito prihvaćene hipoteze: „Sigurni smo da nikad nećemo biti dovedeni nekim novim eksperimentom, ma koliko on bio precizan, do toga da je odbacimo.“ Uza sve to gosp. H. Poincaré bez oklijevanja iznosi tu tvrdnju¹⁷ u vezi s principima mehanike.

Već navedenim razlozima u prilog tome da se do tih principa ne može doći eksperimentalnim opovrgavanjem gosp. H. Poincaré dodaje jedan koji se čini još uvjerljivijim: ne samo da te principi ne može opovrgnuti eksperiment, jer su oni univerzalno prihvaćena pravila koja nam služe za otkrivanje slabih točaka u našim teorijama na koje ta opovrgavanja ukazuju, nego oni ne mogu biti opovrgnuti eksperimentom i zato što operacija koja bi pretendirala da ih uspoređuje s činjenicama ne bi imala nikakva smisla.

¹⁷ H. Poincaré: *Sur les principes de la Mécanique* (Radovi Medunarodnog kongresa za filozofiju. III. Logika i povijest znanosti, Paris 1901; str. 475, 491).

Objasnimo to jednim primjerom.

Princip inercije uči nas da se jedna materijalna točka, oslobođena od djelovanja svakog drugog tijela, kreće pravocrtnim jednolikim gibanjem. Ali moguće je promatrati samo relativna gibanja; moguće je, dakle, dati eksperimentalni smisao tom principu samo ako se pretpostavi da je odabran izvjesna točka, izvjesno geometrijsko tijelo uzeto kao fiksna referencijalna točka u odnosu na koju će se govoriti o gibanju materijalne točke. Određivanje te referencijalne točke čini integralan dio iskazivanja zakona; kad bi se izostavilo to određivanje, taj bi iskaz bio lišen značenja. Koliko ima referencijalnih točaka, toliko ima i različitih zakona. Iskazat ćemo jedan zakon inercije ako kažemo da je gibanje jedne izdvojene točke, po pretpostavci viđeno sa Zemlje, pravocrtno i jednoliko, drugi ako se ponovi ista rečenica dovodeći gibanje u vezu sa Suncem, treći opet ako je odabran referencijalna točka skup zvijezda stajačica. Ali ipak jedna je stvar sasvim izvjesna: ma kakvo bilo gibanje neke materijalne točke gledano sa stajališta prve referencijalne točke, moguće je uvihek i na bezbroj načina odabrati neku drugu referencijalnu točku, takvu da izgleda da se naša materijalna točka, gledana s njezinim stajališta, kreće pravocrtnim jednolikim gibanjem. Ne bi se, dakle, moglo pokušati eksperimentalno verificirati princip inercije: neistinit ako se gibanja dovedu u vezu s izvjesnom referencijalnom točkom, on će postati istinit ako se odabere druga točka usporedbe a uvihek će postojati sloboda da se odabere ova potonja. Ako zakonu inercije, iskazanu uz uzimanje Zemlje kao referencijalne točke, proturječi neko opažanje, bit će zamijenjen zakonom inercije čiji iskaz gibanja dovodi u vezu sa Suncem; ako je i taj zakon opovrgnut, u iskazu će Sunce biti zamijenjeno sistemom zvijezda stajačica i tako redom. Nemoćuće je spriječiti izlaz te vrste.

Princip jednakosti akcije i reakcije, koji je gosp. Poincaré opširno analizirao¹⁸, daje povoda analognim opaskama. Taj se princip može iskazati ovako:

„Centar mase nekog izoliranog sistema može imati samo pravocrtno i jednoliko gibanje.“

To je princip koji bismo trebali verificirati eksperimentom. „Možemo li izvršiti tu verifikaciju? Za to bi trebalo da postoje izolirani sistemi, ali ti sistemi ne postoje: jedini izolirani sistem je čitav univerzum.

Ali promatrati možemo samo relativna gibanja; apsolutno gibanje centra mase univerzuma bit će nam, dakle, zauvijek nepoznato; nikada nećemo moći znati da li je ono pravocrtno

¹⁸ H. Poincaré, loc. cit., str. 472 i dalje.

i jednoliko ili, bolje reći, pitanje nema nikakva smisla. Ma kakve bile činjenice što ih opažamo, bit će nam, dakle, uvijek moguće pretpostaviti da je naš princip istinit.¹⁹

Tako mnogi principi mehanike imaju takav oblik da je absurdno pitati se: da li taj princip jest ili nije u skladu s eksperimentom? Ta neobična osobina nije specifičnost principa mehanike; ona isto tako odlikuje određene fundamentalne hipoteze naših fizikalnih ili kemijskih teorija¹⁹.

Kemijska teorija, na primjer, čitava počiva na *zakonu višestrukih omjera*; evo preciznog teksta tog zakona:

Jednostavna tijela A, B i C mogu, sjedinjujući se u različitim omjerima, tvoriti različite spojeve M, M'... Mase tijela A, B i C koja se kombiniraju da bi tvorila spoj M međusobno se odnose kao tri broja a , b i c . Tada će se mase elemenata A, B i C koji se kombiniraju da bi tvorili spoj M' odnositi međusobno kao brojevi aa , bb i cc , pri čemu su a , b i c tri cijela broja.

Može li taj zakon biti podvrnuti provjeri pomoću eksperimenta? Kemijska nam analiza neće točno pokazati kemijski sastav tijela M' nego s određenom približnošću; nepouzdanošć dobivenih rezultata moći će biti krajnje mala, ona nikad neće biti potpuno jednak nuli. No u nekim odnosima u kojima se elementi A, B i C nalaze kombinirani unutar spoja M' uvijek će biti moguće prikazati te odnose s onolikom približnošću koliko se bude htjelo uzajamnim odnosima triju produkata aa , bb i cc gdje će a , b i c biti cijeli brojevi; drugim riječima, makakvi bili rezultati proizašli iz kemijske analize spoja M', uvijek smo sigurni da ćemo naći tri cijela broja a , b i c zahvaljujući kojima će zakon višestrukih omjera biti verificiran s preciznošću većom od one u eksperimentu. Dakle, nijedna kemijska analiza, kako god ona bila profinjena, neće nikada moći pokazati da je zakon višestrukih omjera pogrešan.

Na sličan način kristalografska čitava počiva na *zakonu racionalnih indeksa* koji se formulira na sljedeći način:

Ako triedar čine tri strane kristala, četvrta strana siječe tri ivice tog triedra na udaljenostima od vrha koje se odnose međusobno kao tri određena broja a , b i c , parametri kristala. Ma koja druga strana mora sjeći te iste ivice na udaljenostima od vrha koje se odnose među sobom kao aa , bb i cc gdje su a , b i c tri cijela broja, indeksi nove kristalne strane.

Najsavršeniji goniometar određuje orijentaciju jedne kristalne strane samo s određenom približnošću; odnosi između

¹⁹ P. Duhem: *Le Mixte et la Combinaison chimique; Essai sur l'évolution d'une idée*. Paris 1902; str. 159—161.

triju segmenata što ih jedna strana određuje na ivicama osnovnog triedra uvijek su podložni izvjesnoj pogreški; ali ma kako mala bila ta pogreška, uvijek je moguće tri broja a , b i c izabrati tako da uzajamni odnosi tih segmenata budu prikazani s najmanjom pogreškom uzajamnim odnosima triju brojeva aa , bb i cc ; kristalograf koji bi tvrdio da se zakon racionalnih indeksa može opravdati upotrebom njegova goniometra ne bi zacijelo uopće razumio smisao riječi koje upotrebljava.

Zakon višestrukih omjera i zakon racionalnih indeksa matematički su iskazi lišeni svakog fizikalnog smisla. Matematički iskaz ima fizikalni smisao samo ako zadržava značenje kad se u nj uvodi riječ „gotovo“. To nije slučaj s iskazima o kojima smo upravo govorili. Oni imaju, u stvari, svrhu da potvrde da su neki odnosi *sumjerljivi* brojevi. Oni bi se izrodili u proste truizme kad bi se njima izjavljivalo da su ti odnosi *gotovo sumjerljivi*; jer ma kakav nesumjerljiv odnos uvijek je gotovo sumjerljiv; on je čak koliko god hoćemo blizu tome da bude sumjerljiv.

Bilo bi, dakle, absurdno htjeti podvrnuti *izravnoj eksperimentalnoj* provjeri određene principe mehanike; bilo bi absurdno htjeti podvrnuti toj *izravnoj* provjeri zakon višestrukih omjera ili zakon racionalnih indeksa.

Proizlazi li odatle da te hipoteze, stavljene izvan domašaja eksperimentalnog opovrgavanja, nemaju više čega da se boje eksperimenta? da su sigurne da će ostati nepromjenljive kakva god bila otkrića što nam ih promatranje činjenica priprema? Tvrđiti to značilo bi počiniti ozbiljan pogrešku.

Uzete izdvojeno, te različite hipoteze nemaju nikakva eksperimentalnog smisla; ne može biti govora ni o tome da ih eksperiment potvrduje ni da im proturječi. Ali te hipoteze ulaze kao bitni temelji u izgradnju određenih teorija, racionalne mehanike, kemijske teorije, kristalografske; zadatak je tih teorija da prikazuju eksperimentalne zakone; te su sheme bitno smisljene da budu usporedene s činjenicama.

No ta bi usporedba jednom mogla pokazati da jedan od naših prikaza slabo odgovara stvarnosti koju treba da predstavlja, da korekcije koje svojim uvođenjem komplikiraju našu shemu nisu dovoljne da proizvedu zadovoljavajuće slaganje između te sheme i činjenica, da teorija, dugo vremena prihvaćana bez pogovora, mora biti odbačena, da neka posve različita teorija mora biti izgrađena na potpuno novim hipotezama. Tada će se neka od naših hipoteza, koja je, uzeta izdvojeno, prkosila izravnom eksperimentalnom opovrgavanju, skupa sa sistemom koji je nosila srušiti pod težinom proturječja što ih

je stvarnost dosudila konzervencama tog sistema uzetog u njegovoj cjelini²⁰.

U stvari, hipoteze koje po sebi nemaju nikakva fizikalnog smisla podliježu eksperimentalnoj provjeri točno na isti način kao i ostale hipoteze. Kakva god bila narav jedne hipoteze, nikada — kao što smo vidjeli na početku ovog poglavlja — njoj ne može izdvojeno proturječiti eksperiment; eksperimentalno proturječe odnosi se uvijek kao cjelina na čitavu jednu teorijsku cjelinu a da ništa ne može naznačiti koji je u toj cjelini stav koji treba odbaciti.

Tako iščezava ono što bi se moglo činiti paradoksalnim u sljedećoj tvrdnji: neke fizikalne teorije počivaju na hipotezama koje po sebi nemaju nikakav fizikalni smisao.

§ X — *Zdrav razum presuđuje koje hipoteze treba napustiti*

Kad eksperiment pogoda proturječjem neke konzervence neke teorije, on nas uči da tu teoriju treba modificirati, ali nam ne kaže što je ono što treba mijenjati. On prepušta fizičarevoj pronicljivosti da traga za nedostatkom koji narušava čitav sistem. Nijedan apsolutni princip ne pokazuje put tom istraživanju koje razni fizičari mogu voditi na veoma različite načine a da nemaju pravo optuživati se uzajamno zbog nedosljednosti. Netko se, na primjer, može založiti da očuva neke fundamentalne hipoteze trudeći se da, komplikiranjem sheme na koju se primjenjuju te hipoteze, navođenjem različitih uzroka pogrešaka i umnažanjem korekcija, opet uspostavi slaganje između konzervenci teorije i činjenica. Drugi, prezirući te komplikirane smicalice, može se odlučiti da promijeni neku od bitnih pretpostavki koje nose cio sistem. Prvi fizičar nikako nema pravo da unaprijed osuđuje smionost drugoga niti drugi da naziva apsurdnom bojažljivost prvoga. Metode kojima se oni služe mogu se opravdati jedino eksperimentom i, ako obje uspijevaju udovoljiti zahtjevima eksperimenta, logički je dopustivo jednomo kao i drugome da izjavи da je zadovoljan djelom što ga je izvršio.

²⁰ Na Medunarodnom kongresu za filozofiju, održanu u Parizu 1900, gosp. Poincaré je iznio ovaj zaključak: „Tako se objašnjava da je eksperiment mogao izgraditi (ili sugerirati) principe mehanike, ali da ih on nikada neće moći oboriti.“ Tom je zaključku gosp. Hadamard suprotstavio različita zapažanja, između ostalih i ovo: „Uostalom, u skladu s jednom primjedbom gosp. Duhema, eksperimentalno se može pokušati verificirati ne jednu izdvojenu hipotezu nego skup hipoteza mehanike.“ (*Revue de Métaphysique et de Morale*, 8. godište, 1900, str. 559).

To uopće ne treba da znači da se ne može veoma opravdano davati prednost djelu jednoga pred djelom drugoga: čista logika nikako nije jedino pravilo naših prosuđivanja; određena mišljenja, koja nikako ne potпадaju pod udar principa proturječja, ipak su savršeno nerazumna; ti motivi, koji ne potječu od logike a koji uza sve to usmjeravaju naš izbor, ti „razlozi koje razum ne poznaje“, koji govore duhu profinjenosti a ne geometrijskom duhu, čine ono što se s pravom naziva *zdravim razumom*.

Dakle, moguće je da nam *zdrav razum* dopusti da se opredijelimo između naša dva fizičara. Moguće je da ne smatramo nimalo razumnom žurbu kojom drugi narušava principe jedne opsežne i skladno izgradene teorije premda bi modifikacija neke pojedinstvenosti i laka korekcija bile dovoljne da se te teorije dovedu u sklad s činjenicama. Moguće je, nasuprot tome, da smatramo djetinjastom i nerazumnom tvrdoglavost kojom prvi fizičar pošto-poto i uz cijenu neprestanih ispravaka i gomile zamršenih podupirača zadržava crvotočne stupove jednog zdanja koje se klima sa svih strana premda bi, srušivši te stupove, bilo moguće na novim hipotezama izgraditi jednostavan, elegantan i solidan sistem.

Ali ti razlozi zdrava razuma ne nameću se istom neumoljivom strogošću kao propisi logike; oni imaju u sebi nešto neodređeno i neizvjesno i ne očituju se u isto vrijeme istom jasnoćom svim umovima. Odatle mogućnost dugih prepirkki između zastupnika nekog starog sistema i branitelja nekog novog učenja, pri čemu svaki tabor tvrdi za sebe da posjeduje zdrav razum i svaki tabor smatra nedostatnima razloge protivnika. Povijest fizike pruža nebrojene primjere o tim prepirkama u svim epohama i na svim područjima. Ograničimo se na to da se podsjetimo upornosti i dovitljivosti kojima je Biot, neprestano iznoseći korekcije i dopunske hipoteze, zadržavao u optici doktrinu emisije, dok se Fresnel bez prestanka suprostavljao toj doktrini novim eksperimentima koji su išli u prilog valnoj teoriji.

Pa ipak, to stanje neodlučnosti uvijek traje samo neko vrijeme. Dolazi dan kad se zdrav razum opredijeli tako jasno za jednu od dviju strana da se druga strana odrekne borbe, premda čista logika ne bi zabranjivala njezino nastavljanje. Pošto je Foucaultov eksperiment pokazao da se svjetlost širi brže u zraku nego u vodi, Biot je odustao od hipoteze emisije; strogo uvezši, čista ga logika nikako nije prisilila da je napusti, jer Foucaultov eksperiment nikako nije bio *experimentum crucis* kakvim ga je Arago smatrao, ali da se još dulje odupirao valnoj optici, Biotu bi *uzmanjkalo zdrava razuma*.

Budući da logika ne obilježuje strogom preciznošću trenutak u kojem neka neadekvatna hipoteza treba da ustupi mjesto plodnijoj pretpostavki i budući da zdrav razum treba da odredi taj trenutak, fizičari mogu požuriti s tim sudom i povećati brzinu znanstvenog napretka trudeći se da zdrav razum kod sebe samih učine lucidnijim i budnjim. Ali ništa u većoj mjeri ne pridonosi sputavanju zdrava razuma i narušavanju njegove pronicljivosti od strasti i interesa. Ništa, dakle, neće usporiti odluku koja u fizikalnoj teoriji treba da prouzroči neku sretnu reformu kao što će to učiniti taština koja čini fizičara odveć sklonim njegovu vlastitom sistemu, odveć strogim prema sistemu drugoga. Tako smo dovedeni do sljedećeg zaključka što ga je tako jasno formulirao Claude Bernard: valjana eksperimentalna kritika neke hipoteze podređena je izvjesnim etičkim uvjetima; da bi se točno ocijenilo slaganje neke fizikalne teorije s činjenicama nije dovoljno biti dobar geometar i vješt eksperimentator, već treba biti i nepristran i pošten sudac.

II NAUKA I FILOZOFIJA