

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Max Born

Pokus a teorie ve fyzice

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 5 (1960), No. 4, 446--460

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137024>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1960

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

DISKUSE

POKUS A TEORIE VE FYSICE¹⁾

Max Born

Člověk přirozeně pokládá práci svých rukou a svého mozku za účelnou a důležitou. Nebude proto nikdo odporovat nadšenému experimentátorovi, který se bude chlubit svými přístroji a který se bude dívat trochu s patra na „papírovou“ fysiku svého druhu — teoretika. Tento zase naopak je hrdý na své vznešené ideje a někdy trochu přezírá umazané ruce svého druhu — experimentátora.

Dnes se však toto přátelské soupeření vážně mění.²⁾ V Německu zašla škola extrémních experimentátorů, vedená Lenardem a Starkem, tak daleko, že teorii vůbec popírá, prohlašuje ji za „židovský výmysl“ a označujíc pokus za jedinou „arijskou“ vědeckou metodu. Jsou i opačné extrémy. Nemají sice rasistický aspekt, nejsou však proto méně radikální v tvrzeních, že pro rozum, dobře vycvičený v matematice a v teorii poznání jsou přírodní zákony zřejmé i bez pokusu. Mezi vědce, kteří se drží této filosofie, patří dva významní astronomové, Eddington a Milne, i když jdou, jak se zdá, poněkud různými směry.

Chci zde hovořit právě o Eddingtonově filosofii, která hlásá triumf teorie nad experimentem. Jsem teoretickým fysikem (židovského původu), mohlo by se proto očekávat, že budu mít z této filosofie radost. Avšak já z ní radost nemám.

Naopak, mám za to, že takové myšlenky znamenají značné nebezpečí pro zdravý vývoj vědy. Právě toto přesvědčení mne přimělo, abych přijal váš návrh přednášet na toto obtížné thema. Nechci se však přít s Eddingtonem o hluboké filosofické principy, ani s ním soutěžit v jeho nepřekonatelném mistrovství v dialektice a polemice. Chci pouze ukázat nejjednodušším způsobem vztah mezi teorií a experimentem ve skutečném vývoji vědy a vyslovit mínění o současné situaci a o budoucích možnostech.

Ani tento skromný program není však snadné zvládnout, neboť aktivní vědecký pracovník má málo času pro historii. Já sám jsem velmi málo, dokonce pranepatrně četl originální historickou literaturu. Moje znalosti v tomto směru pocházejí z největší části z druhé ruky, z učebnic, příruček a encyklopedií. Jsou však dva momenty, mluvící v můj prospěch. Dostatečně znám několik velkých klasických mistrovských děl z matematiky a fysiky, abych mohl být jist, pokud jde o historické a osobní základy, z nichž tato díla vyrůstala, za druhé jsem dostatečně stár, abych mohl říci, že během svého života jsem poznal rozvoj současné fysiky, která představuje nejpodstatnější část veškeré fysiky. Myslím, že tu je dostatečně látky k tomu, aby bylo možno dojít k určitému mínění.

Probíráme-li pozorně dějiny vědy, pozorujeme zvláštní cyklus — střídání experimentálního vývoje s vývojem teoretickým. Teorie jeví tendenci k stále větší abstraktnosti a obecnosti. Teorie dosahují vyšších úrovní v principech, jimž se filosofové zprvu brání, později si je však osvojují. Jakmile se principy stanou součástí filosofického systému, začíná proces dogmatizace a ustrnutí. Tyto rysy nacházíme již v nejstarších kvantitativních vědách — v matematice a v astronomii. První geometrické poznatky, objevené Sumery, Babyloňany a Egypťany, byly nepochybně empirického charakteru. Řekové objevili logické souvislosti geometrických faktů a založili první deduktivní vědu, jež došla vrcholného výrazu v Euklidově díle. Dnešní matematik se ovšem může dívat na

¹⁾ Макс Борн, *Эксперимент и теория в физике*, Успехи физических наук, sv. LXVI, č. 3, 1958. Rozšířený Bornův referát, přednesený na zasedání Durhamské filosofické společnosti a Společnosti pro čistou vědu Royal Colledge v Newcastle-on-Tyne 21. 5. 1943. Z angličtiny do ruštiny přeložil C. Г. Суворов.

²⁾ Jde o rok 1943, dobu, kdy se blížil zánik hitlerovského fašismu. Pozn. překl.

geometrii jako na produkt čistého myšlení, vycházející z axiomů a postulátů a celý systém pokládat za zajímavou hru. Tak však řečtí filosofové své geometrii nerozuměli. Věděli, že mají co činit s abstrakcemi reálných věcí. Skutečnost, že předpovědi jejich teorií se vždy potvrdily pokusem, vedla k přesvědčení, že axiomy euklidovské geometrie obsahují poslední pravdu.

Euklidův systém přetrval 2000 let. Přežil pád řecké a římské civilizace i pozdější sociální historické převraty. Prošel všemi fázemi patrně i skryté dogmatizace. Dokonce i v rozkvětu současné vědecké epochy s jejím kritickým postojem k tradičním názorům byl skutečný význam Euklidových pouček mimo jakoukoli pochybnost, jejich dosah se však stal předmětem filosofických spekulací. Kant připouštěl, že přímo a přesně poznáváme prostor, čas, příčinnost atd. a tím vysvětloval, že ve skutečnosti nemáme co činit s věcmi samými, nýbrž s formami naší intuice o těchto věcech. Tyto formy myšlení jsou nám pravděpodobně dány a priori, to jest před zkušeností. Za hlavní příklad sloužily tu Kantovi geometrické poučky, čímž myslil Euklidovy postuláty.

Idea možnosti apriorního poznání má kořen v historické skutečnosti, že řecká geometrie byla stabilní až do naší doby, kdy teprve byla zobecněna. Stabilita řecké geometrie spočívá v přesnosti, se kterou popisuje chování těles v okolí Země. První pochybnosti v tomto směru nevznikly na podkladě pokusu, nýbrž z logických úvah. Výsledkem byl objev neeuklidovských geometrií (Gauss, Bolyai, Lobačevskij),³⁾ jehož dovršením jsou Riemannovy práce, na jejichž podkladě vytvořil později Einstein svou teorii relativity.

Astronomie se vyvíjela souběžně s geometrií, s tím rozdílem, že již někteří z řeckých filosofů měli jasné představy o kulovitosti Země, o heliocentrické soustavě a o reálných vzdálenostech v této soustavě. Tyto ideje byly potlačeny v chmurném období středověku. Církev přijala Aristotela a Ptolemaia. Dnes můžeme říci, že úpadek vědy ve středověku má příčinu v nadměrném zveličování úlohy rozumu, který byl stavěn proti materiálnímu jevům, což vedlo k nadřazování spekulace experimentu.⁴⁾

Dnešní věda začala za renesance s novou filosofií, která viděla v pokusu hlavní zdroj poznání. Pionýrskou úlohu tu sehrál Francis Bacon, jejími realisátory byli Galilei a Newton. Scholastickou filosofii kritisoval již Descartes a jiní. Tito kritikové však přicházeli hlavně s logickými a metafyzickými argumenty. Jejich teorie vesmíru se nám jeví nepřesvědčivá, neboť se neopírá dostatečně o pozorování a pokus. Rozdíl mezi naší dobou a středověkem spočívá v podstatě v tom, že se ustoupilo od tradice a že se za skutečný zdroj poznání vzal pokus. Renesance není jen znovuobjevení řecké literatury, ale také obrození řeckého ducha, skeptických a zároveň konstruktivních názorů řecké filosofie. Byla vypracována metoda induktivního myšlení, jež vede od jednotlivých pozorování k obecným zákonitostem. Tato metoda se může sama stát předmětem filosofického rozboru. Je jasné, že metoda induktivního myšlení předpokládá nejen zásadní víru v existenci přírodních zákonů, ale také kritéria pro rozlišení skutečných zákonitostí od náhodných a jiných principů téhož druhu. Nemožno se zde zabývat těmito abstraktními problémy. Chci pouze říci, že revoluce, která nahradila scholastiku dnešní vědou, sesadila deduktivní metodu z jejího vládnoucího postavení a přisoudila jí místo, jež jí skutečně náleží. I Galileimu i Newtonovi byl naprosto jasný induktivní charakter nové filosofie. Na podkladě teorií, které vypracovávali syntézou experimentálních výsledků, prováděli nové pokusy, a byly-li výsledky těchto nových výzkumů příznivé, pokládala se teorie za potvrzenou. To je zákonitá vědecká metoda, skládání dedukce a indukce, o níž se píše v mnohých učebnicích. To však není vše.

Galilei i Newton se úzkostlivě snažili vyhýbat se metafyzickým spekulacím (*hypotheses non fingo*). Po čase však, jakmile byly zákony mechaniky úplně známy, nacházíme pokusy odvodit je z principů, jež svou formulaci zavádějí myšlenku o mimozkušenostním poznání. Nejúspěšnější je v tomto směru princip nejménšího účinku. Je známo, že Maupertuis k němu došel teleologickou ideou: předpokládalo se, že příroda podobně jako člověk sleduje určitý cíl, jehož se snaží dosáhnout minimálním „působením“. Proč musí příroda toto působení — podle matematického výrazu, který mu dal Maupertuis, tak

³⁾ Historii vzniku idejí neeuklidovské geometrie podrobně prostudoval V. F. Kagan, znaný znalec této otázky. Viz B. Ф. Каган, *Лобачевский и его геометрия*, Moskva, 1955. S. G. S. Viz také N. V. Markov, *Вýznam геометrie N. I. Лобачевского про развој физики*, Sovětská věda — matematika, fyzika, astronomie, III (1953); K. Havlíček, *Sté výročí smrti Jánose Bolyaie*, v tomto časopise, V (1960), č. 3. *Pozn. překl.*

⁴⁾ M. Born tu vidí dějiny jen ve světle vývoje idejí. Ve skutečnosti jsou příčiny úpadku vědy ve středověku i její pozdější obrození nikoli v „nadměrném zveličování úlohy rozumu“, nýbrž ve středověkém společenském zřízení; v poslední instanci jsou pak ekonomické povahy. S. G. S.

vysoko odhadovat, aby bylo hospodárné, je ovšem těžké vysvětlit. Víme dnes, že skutečné pohyby neodpovídají reálnému minimu působení — s výjimkou krátkých časových intervalů — nýbrž stacionárním stavům, a na princip minimálního účinku se díváme jen jako na velmi užitečný prostředek pro kondensování složitých diferenciálních rovnic do stručných zápisů.

Mohutnost tohoto principu ve formě, jíž mu dal Hamilton, je patrná ze skutečnosti, že pomocí něho lze formulovat nejen zákony klasické mechaniky částic a tuhých těles, ale také zákony teorie pružnosti, hydrodynamiky, elektrodynamiky a celé dnešní teorie pole, spjatého s elementárními částicemi (elektronem, protonem, mesonem). Vezmeme za příklad elektrodynamiku.

Uvažujme skalární potenciál Φ a vektorový potenciál \mathbf{A} , a zavedme pro zjednodušení zápisu vektory

$$\mathbf{E} = -\text{grad } \Phi - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t}; \quad \mathbf{H} = \text{rot } \mathbf{A}. \quad (1)$$

Pak je princip nejmenšího účinku pro elektrodynamiku ve vakuu dán vztahem

$$\delta \iint \frac{1}{2} (E^2 - H^2) dV dt, \quad (2)$$

kde dV je objemový element, δ je infinitesimální variace potenciálů; integruje se přes uvažovaný prostorový obor a časový interval.

Výsledky této variace mají tvar diferenciálních rovnic

$$\text{rot } \mathbf{H} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}, \quad \text{rot } \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad (3)$$

kteřé jsou Maxwellovými rovnicemi pro vakuum, interpretují-li se vektory \mathbf{E} a \mathbf{H} jako vektory elektrického a magnetického pole.

Variační princip má něco přesvědčivého v tom smyslu, že stahuje velkou oblast jevů do jednoho stručného výrazu. Tato přednost se ještě znásobuje, díváme-li se na ni očima matematika, který zná teorii relativity, a který ví, že \mathbf{E} a \mathbf{H} představují dohromady šestirozměrný vektor, mající určité vlastnosti vzhledem k Lorentzovým transformacím. Poněvadž existují jen dva invarianty, $E^2 - H^2$ a $(\mathbf{E} \cdot \mathbf{H})^2$, a poněvadž elektromagnetické působení musí být invariantní, musí být funkcí jen těchto invariantů. Postulujeme-li ještě, že výsledné rovnice musí být lineární, musí být působení kvadratickou funkcí, což vede přímo na výše uvedený výraz.

Tento výraz se zdá být přímým důsledkem základních principů. Jsou-li tyto principy známy a přidáme-li k tomu pronikavý rozum našeho matematika, jeví se maxwellovské rovnice jako výtvar čistého rozumu a hrubá práce experimentátora se zdá zastaralou a zbytečnou.

Jistě není nutné vám vysvětlovat, že takové stanovisko je chybné. Ani jeden z pojmů, jichž matematik použije — potenciál, vektorové pole, Lorentzovy transformace — nevyjímá ani sám princip působení, není zřejmý a a priori daný. Ani kdyby mimořádně nadaný matematik tyto pojmy vykonstruoval, aby mohl popsat vlastnosti možného světa, neměl by ani on, ani kdokoli jiný nejmenší potuchy o tom, jak tyto pojmy na reálný svět aplikovat. Fysika je vždy před problémem, jak lze reálné jevy, pozorované našimi smysly, zostřenými přístroji, převést na jednoduché pojmy, které jsou schopny přesného změřen a jež jsou vhodné pro formulace kvantitativních zákonů. Od prvního pozorování elementárních elektrických jevů — přitahování nebo odpuzování malých tělísek nebo nevelkých elektrických výbojů — k pojmu elektrického pole a elektrického potenciálu, je dlouhá cesta, a ještě déle trvalo, než se objasnily vzájemné vztahy s odpovídajícími magnetickými silami a než se došlo k soustavě Maxwellových rovnic, jež je spojují.

Když jsem byl studentem — je tomu již čtyřicet let — zdál se pojem pole ve vakuu velmi podivným a obtížně jsme si jej osvojovali. Odtud až k plnému rozvoji teorie relativity byla opět dlouhá a namáhavá cesta. Relativnost času se nám jevila vnučenou, Einsteinova práce se objevila až po Michelsonových a Morleyových pokusech, a i Lorentz se neochotně vzdával absolutního stacionárního éteru a neochotně uznával ekvivalentnost různých časů, jež připouštěly jeho transformace.

Variační princip — poučka, jejíž správnost jasně prokazuje historie — je na konci dlouhého řetězu úvah jako znamenitý koncentrát výsledků. Je možné, že pomáhal těchto výsledků se dobrat (ač o tom pochybuji, pokud jde o elektrodynamiku). Má však velmi úzký vztah k tvoření nových fundamentálních pojmů, jež jsou charakteristické pro elek-

trodynamiku. Revolučním prvkem, který odlišuje elektrodynamiku od klasické mechaniky, je koncepce pole. Z Faradayových prací lze vidět, jak se rodila jeho pozorování dielektrických, paramagnetických a diamagnetických vlastností. K jejich formulování však bylo třeba mohutného matematického aparátu Maxwellova.⁵⁾ Nešlo tu však jen o čistou matematiku. Fakta tehdy známá musela vést (pro vakuum) k neúplnému tvaru rovnic (3) — místo k první z těchto rovnic k rovnici

$$\text{rot } \mathbf{H} = 0 .$$

Maxwell učinil rozhodující krok tím, že připojil člen $\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$. Učinil to bez experimentálního zdůvodnění, řídil se zpočátku jen mechanickým modelem, éterem, a později hlediskem matematické dokonalosti a matematické elegance. Vy v tom ovšem můžete vidět projev genia. Tento člen právě vedl k předpovědi vln, šířících se konečnou rychlostí, a k elektromagnetické teorii světla, k rádiu a k celé dnešní radiotechnice.

To je skvělý příklad toho, jaké možnosti má teoretický fyzik. On odhaluje nedostatky teorie a snaží se je odstranit tím, co byste mohli nazvat „matematickou hypotézou“. Má-li úspěch, jestliže modifikovaná teorie předpoví jevy, jež se novými experimenty potvrdí, můžete mluvit o „synthetických“ předpovědích. Takové předvídaní je velmi vzácné, avšak podle mého mínění mnohem významnější a důležitější, než normální „analytický“ typ předpovědi, opírajících se o pevnou teorii. Příklady pro analytické předpovědi je tolik, že je obtížné vybrat nejcharakterističtější. Fyzik nebo inženýr, který pracuje na projektu přístroje a očekává, že tento přístroj bude fungovat „podle plánu“, se s nimi setkává denně.

Vejdete-li do místnosti, a uvidíte-li za psacím stolem hlavu, ruce a horní část trupu člověka, budete přesvědčeni, že má nohy, i když je nevidíte, a nijak vás nepřekvapí, že naše předvídaní v tomto směru se potvrdí (žel, můžete se také mylit, onen člověk může být invalidou). Stejně je tomu ve vědě. Rozdíl je jen v tom, že obrazy, jež nevidíme, jsou složitější, a že je tu třeba jistých výpočtů.

To, co rozumíme pod synthetickou předpovědí, lze ilustrovat příkladem strany Měsíce od nás odvrácené, která je neviditelná, analogicky nohám našeho člověka, sedícího za psacím stolem. Předpokládejme, že v době, kdy se zjistilo, že viditelná část měsíčního povrchu je kulového tvaru, se našli středověcí filosofové, kteří tvrdili na tom, že je třeba činit vždy předpoklady nejjednodušší, a že rovina je nejjednodušší plocha. Astronomové by byli měli v takovém případě ukázat, že Měsíc je polokoule, jejíž rovinná část povrchu je pro nás neviditelná. V důsledku jiných výzkumů se však pojem „jednoduché“ mění. A člověk vždy pokládal kruhovou hranu, v níž se plocha kulová protíná s rovinou, za složitější, než kulovou plochu celou. Po nějaké době byly pak objeveny malé výkyvy v pohybu Měsíce, které ukázaly malé části jeho jinak neviditelné strany, čímž se prokázalo, že žádné kruhové hrany na Měsíci není.

Maxwellovo doplnění členem $\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$ je právě takovým uhlazením hrubého obrazu, který má zde ovšem matematickou strukturu jemnějšího typu, než je kulová plocha.

Budiž mi dovoleno výše načrtnutý obraz rozšířit. To, co máme na mysli, je idea, kterou současní psychologové (von Ehrenfels, Keller, Wertheimer a jiní) zavedli pod německým názvem *Gestalt*, aby se popsaly elementární děje spjaté s vnímáním smyslových počítků. Smyslové počítky, vnímané současně, nejsou vzájemně nezávislé na způsob mosaiky, nýbrž tvoří celistvý obraz — to je experimentální skutečnost. V příkladě s člověkem za psacím stolem nevidíte barevné skvrny; sekundárními ději je doplňujete a vidíte člověka za psacím stolem. Dobrým příkladem obrazu je melodie. Vnímáme ji současně s tóny, představuje však něco více, než souhrn jednotlivých tónů. Je mou oblíbenou myšlenkou, že na otázku „co je realita, popisovaná fyzikálně teoretickou formulí“ lze odpovědět, že „obrazy“ fyzikálních věcí jsou invarianty rovnic. Jejich realnost je téhož typu — mám na mysli objektivní realnost vnějšího světa — jako realnost kteréhokoli obrazu dobře známých věcí, na příklad obrazu lidského těla. A já nevidím, že by se vědecká analytická předpověď silně lišila od oné každodenní procedury, bez níž by život nebyl možný, procedury, pomocí níž očekáváme, že obraz, poznatý podle několika málo kritérií, je úplný, a že má všechny ostatní vlastnosti, jež jsou pro něj charakteristické. Synthetická předpověď spočívá však na hypotetickém předpokladu, že reálný obraz částečně známého jevu se liší od toho, jakým se zdá. Jestliže taková předpověď, bude-li

⁵⁾ Viz o tom na příklad K. Kuchař, *James Clerk Maxwell a pojem pole v klasické fyzice*, tento časopis, IV (1959), č. 4. *Pozn. překl.*

potvrzena experimentálně, dá nové poznatky, je zákonitou metodou — i když je založena na hypotéze. Závisí však velmi na intuici a sotva se jí lze naučit.

Myslím, že toto rozlišení je dobré pro ohodnocení významu vědeckých objevů. Uvedme několik příkladů.

Jedním z nejpozoruhodnějších příkladů je Hallův objev planety Neptuna v soulase s teoretickými předpovědmi, jež učinili nezávisle na sobě Adamson a Leverrier na podkladě malých perturbací v pohybech jiných planet. Byl to překvapující výsledek matematického umění. Nechci jej ani v nejmenším nějak bagatelisovat, můžeme však říci, že tento objev nerozšířil obzor teorie. Byla to analytická předpověď, aplikace dobře známých obrazů newtonovské mechaniky.

Stejně je tomu s proslulou předpovědí Hamiltonovy kónické refrakce, která se často uvádí jako příklad síly teorie. Naprosto nepopíráme sílu teorie. Jmenovaný objev však vycházel z dané teorie a spočíval v objasnění zamotaných vlastností Fresnelovy vlnoplochy. Z hlediska naší klasifikace patří do třídy analytických předpovědí.

Zcela jiná je naproti tomu Einsteinova předpověď ohybu světelných paprsků při průchodu gravitačním polem Slunce, odvozená z obecné teorie relativity, neboť tato teorie je fundamentálním zobecněním teorie Newtonovy. Na tomto příkladu bych chtěl ukázat, že Einstein učinil předpověď na velmi solidním základě fyzikálních faktů, takže zde jsme zcela v právu použít slova „synthesa“. Vědecká fantazie spočívá v odhadu významu faktu, který byl v daném případě známý od dob Newtonových, pro nějž však mnoho pokolení fysiků ztratilo zájem. Jde o úměrnost mezi setrvačnou a tíhovou hmotou. Newton předpokládal existenci této proporcionality, Bessel, Etvös a jiní ji později s velkou přesností potvrdili. Newton, ani jeho následovníci nedokázali tento fakt vysvětlit. Je však s podivem, že během následujících dvou století tento problém ani nevyvstal. Možnost řešení závisela na řadě výzkumů: na záměně pojmu síly působící na dálku pojmem pole, šffického se konečnou rychlostí; na stanovení lineární relativnosti, a nakonec — což není o nic méně důležité — na hypotetickém zobecnění euklidovské geometrie (Gauss, Ricci, Levi-Civita a jiní). Vše to bylo nevyhnutelné, a všechno to se soustředilo v Einsteinově mysli v problému dvou aspektů hmoty (massy). Nová teorie je gigantickou synthesou dlouhé řady experimentálních výsledků a nikoli výsledkem samovolné mozkové činnosti. Obecná relativnost vyjadřuje fyzikální zákony geometrickou řečí a zároveň činí z geometrie součást fysiky. Je tak apriorně zřejmá a snad ještě zřejmější, než euklidovská geometrie. To souvisí s její matematickou dokonalostí, bez níž bychom ji vůbec nemohli uznat za teorii. Bylo by však omylem pokládat ji za definitivní. Brzy se ukázalo, že obecná relativnost není posledním slovem. Nepomohla v chápání povahy hmoty, v pochopení existence různých elementárních částic a polí. Weyl, Eddington a jiní, i sám Einstein se snažili ji zobecnit. Vyhličky však byly nevelké. Dodnes se nic určitého nezískalo, necháme-li stranou, že vedle prvního Einsteinova modelu je velmi mnoho místa pro různé možné teorie.

Dovolte mi nyní, abych pohovořil o jiném základním odvětví dnešní fysiky — o kvantové teorii. Předcházelo jí mnoho experimentálních objevů — objev katodových paprsků, rentgenových paprsků, objev radioaktivity atd. Mnohé z těchto objevů se — jak se později ukázalo — vymykaly ze zákonitostí klasické mechaniky a klasické elektrodynamiky. Ani jeden z nich však nevedl přímo k objevu energetického kvanta.

Víte že Planck se k němu uchýlil (v roce 1900) tak říkájíc „ze zoufalství“, v důsledku nemožnosti vysvětlit klasickými zákony vlastnosti tepelného záření. Planck našel svou formuli záření jako interpretaci poloempirických zákonů pro velmi dlouhé a velmi krátké vlny. Dlouhá, pětadvacet trvajíc perioda, která předcházela kvantové mechanice, je charakteristická hromaděním nových a nových empirických dat ve prospěch reálnosti energetického kvanta, a objevem naprosté nezpůsobnosti klasických pojmů pro operace s tímto kvantem. Připomenu jen některé z nejdůležitějších objevů: einsteinovský výklad fotoelektrického jevu, Einsteinova teorie tepelné kapacity tuhých těles, Bohřův výklad Ritzova kombinačního principu v čárových spektrech a Frankovo a Hertzovo experimentální potvrzení tohoto výkladu, obecná, Bohřem podrobně prostudovaná teorie atomové struktury a periodické soustavy prvků, Comptonův a Gerlachův-Sternův efekt, dešifrování pásových spekter a objev kvantových pravidel pro sato spektra, a mnoho jiných. Idea kvanta se každým novým objevem více vyjasňovala. Drobné modifikace by nebyly vedly nikam, bylo třeba pronikavé revoluce.

Kvantová mechanika, jež byla výsledkem tohoto procesu, měla dva, pravděpodobně nezávislé kořeny — maticovou mechaniku a její zobecnění (Heisenberg, Born, Jordan, Dirac) a vlnovou mechaniku (de Broglie, Schrödinger).

Dovolím si, než rozeberu tyto myšlenky, říci něco o matematickém aparátu.

Obě stránky kvantové mechaniky se ve velké míře opírají o Hamiltonovy práce. To se často uznávalo, pokud jde o vlnovou mechaniku. Hamilton připravil cestu tím, že rozmotal spletitost mezi geometrickou optikou a vlnovou teorií a že demonstroval těsnou analogii mezi Fermiho principem v optice a svým principem nejmenšího účinku v dynamice. Avšak i druhou, maticovou a operátorovou formu kvantové mechaniky lze sledovat zpět až k Hamiltonovi. Vzpomínáme letos⁶⁾ stého výročí zavedení Hamiltonových kvaternionů — prvního příkladu nekomutativní algebry. Tento název není tak výrazný, jako např. název neeuclidovská geometrie⁶⁾, který jasně vyjadřuje odklon od starých tradic v myšlení a začátek nové epochy. Avšak Hamiltonova práce představuje převrat stejného druhu. Hamilton se snažil zobecnit představu vektorů v rovině, popisovaných komplexními čísly $z = x + iy$, na vektory v prostoru. Šlo o tuto myšlenku: dostat analytický protějšek ke geometrickým konstrukcím (na příklad „geometrický součet“ dvou vektorů \mathbf{a} a \mathbf{b} se popisuje analyticky operací $\mathbf{a} + \mathbf{b}$).

Hamilton našel přirozené zobecnění komplexních čísel se čtyřmi komponentami (kvaterniony), pro něž platí všechna pravidla algebry kromě komutativnosti násobení: $ab \neq ba$. To byl začátek moderní algebry, jíž lze zhruba srovnat s Riemannovou geometrií, pokud jde o dosah, a to nejen v matematice, ale i ve fyzice. Kvaterniony samy nebyly tak plodné, jak očekával Hamilton a jeho nadšení žáci. Avšak obecnější pojem — matice — se ukázal pružným nástrojem v nepřehledné řadě matematických a fyzikálních výzkumů. Naučil jsem se matic používat jako student (mými učiteli byli Rosanes a Minkowski) a použil jsem jich pak v různých fyzikálních teoretických problémech (na příklad v teorii krystalové mřížky). Měl jsem tak šťastnou příležitost vidět v symbolickém součinu Heisenbergově (o němž budu hovořit) příklad z dobře známého maticového počtu a být prvním — pokud vím — který napsal takovou podivnou rovnici $pq - qp = h/2\pi i$ (uveřejněnou současně s Jordanem), v níž nekomutativní symboly jsou výrazy pro fyzikální veličiny (souřadnice q a impuls p). Téměř současně vypracoval Dirac nekomutativní mechaniku ve velmi obecné a vhodné formě. Dnes se celá teoretická fyzika opírá o tyto matematické metody.

Často se říká, že Heisenberga dovedla k maticové mechanice metafyzika. Ti, kteří věří v sílu čistého rozumu, toho používají jako příkladu. Kdybyste se však zeptali Heisenberga samého, kategoricky se proti tomu ohradí. Pracovali jsme spolu, domnívám se proto, že vím, co mělo vliv na Heisenbergovo myšlení. Byli jsme tehdy přesvědčeni o tom, že nová mechanika se může opírat o nové pojmy, které jen slabě souvisí s pojmy klasickými ve smyslu Bohrova postulátu korespondence. Heisenberg měl za to, že veličiny, jež nesouvisí přímo s experimentem, musí být vyloučeny. Chtěl založit novou mechaniku pokud možno přímo na experimentálních faktech. Je-li toto „metafyzický princip“, prosím; chtěl bych však říci, že je to právě tento fundamentální princip dnešní vědy, který ji odlišuje od scholastiky a od dogmatických filosofických systémů. Jestliže se však tímto principem rozumí vyloučení všeho nepozorovatelného z teorie (a mnozí tak činí), dojde se k nesmyslu. Schrödingerova vlnová funkce ψ na příklad je taková nepozorovatelná veličina, a byla přece později Heisenbergem přijata jako užitečný pojem. Heisenberg postuloval nikoli dogmatický, nýbrž heuristický princip. Odhalil vědeckou intuicí neadekvátní (*spurious* — falešný) pojmy, jež nutno vyloučit. Pokusíme se to vyloučit.

Podle Bohra obíhají elektrony atomové jádro, podobně jako planety obíhají kolem Slunce. K popsání takového kvasiperiodického pohybu používá klasická mechanika Fourierovy metody: každá složka se rozvede v součet harmonických pohybů, z nichž první má frekvenci ν_1 — základní frekvence — další mají frekvence po řadě $\nu_2 = 2\nu_1$, $\nu_3 = 3\nu_1, \dots$ (svrchní tóny).

Ukázalo se však, že atomové spektrální čáry nevyhovují těmto harmonickým $\nu_n = n\nu_1$. Platí pro ně pravidlo nalezené Ritzem. Všechny frekvence ve spektru mohou být vyjádřeny pomocí „termů“ T_1, T_2, \dots ve tvaru $\nu_{nm} = T_n - T_m$. Tvoří proto čtvercovou soustavu

$$\begin{pmatrix} 0, & \nu_{12}, & \nu_{13}, & \dots \\ \nu_{21}, & 0, & \nu_{23}, & \dots \\ \nu_{31}, & \nu_{32}, & 0, & \dots \\ \dots & & & \dots \end{pmatrix}$$

Spektroskopikové obyčejně rozkládali svoje měření grup spektrálních čar, tak zvaných multipletů, v takovou tabulku, a dnes se zdá podivným, že matematicky vzdělaným fyzikům to nikdy nepřipomnělo myšlenku matice. Další vývoj byl mnohem složitější

⁶⁾ Jde o rok 1943. Pozn. překl.

a opíral se o další fakta. Z počátku došlo k bohrovské identifikaci termů T_n s energií stacionárních stavů užitím planckovského zákona $E_n = hT$. Pak přišla dlouhá řada úvah o odvození kvantových formulí z formulí klasických pomocí jisté matematické hypotézy, k níž vedl princip korespondence (Bohr, Heisenberg, Kramer, Born). Tyto formule, jež byly dobře potvrzeny pokusy, vnukly Heisenbergovi myšlenku, že kvantové formule mohou být vyjádřeny jistým symbolickým součinem. Klíčem k tomuto formalismu byl vztah, plynoucí z Ritzova pravidla: $\nu_{nk} + \nu_{km} = \nu_{nm}$, a z toho plynoucí pravidlo

$$e^{i\nu_{nk}t} + e^{i\nu_{km}t} = e^{i\nu_{nm}t}.$$

To vede ihned k heisenbergovskému násobení, jež bylo identifikováno se známým maticovým násobením (Born, Jordan). Nová teorie a její zobecnění (g — Diracova čísla, Schrödingerovy operátory) se poprvé potvrdila zjištěním identity výsledků — v jednoduchých případech — s formulí, získanou předtím použitím principu korespondence.

To byla tedy podstatně induktivní cesta myšlení, jež vedla k nejabstraktnější teorii z teorií známých ve fyzice, a v níž se pozorované údaje reprezentují nekomutativními veličinami (maticemi nebo operátory), jejichž numerické hodnoty jsou jejich charakteristické hodnoty.

Zcela jinak vznikala vlnová mechanika. Zdálo se, že J. J. Thomson svými pokusy definitivně prokázal korpuskulární charakter katodových paprsků, a nikdo nečekal, že jich bude možno použít pro vytvoření interferenčních kruhů. De Broglieova asociace vln a částic se proto po právu pokládala za triumf intuice. I zde je však jasný experimentální základ. Speciální teorie relativity totiž ukázala, že

1. tři souřadnice impulsu \mathbf{p} a energie ϵ představují čtyřrozměrný vektor, to jest že mají jisté transformační vlastnosti,

2. tři souřadnice vlnového vektoru (vektor o směru vlnové normály \mathbf{a} o modulu $k = 1/\lambda$, kde λ je vlnová délka, a frekvence se chovají jako čtyřrozměrný vektor,

3. Planckova kvantová teorie, v té době dobře potvrzena experimentem, tvrdí, že s každou energií ϵ je spjata frekvence ν vztahem $\epsilon = h\nu$.

Tato fakta beze zbytku prokazují, že s každou částicí je spjata vlna, jejíž vektor je rovnoběžný s impulsem částice a který splňuje vztah $\mathbf{p} = h\mathbf{k}$.

To je zákon de Broglieův. De Broglie zkoumal jeho důsledky pro rovinné vlny a poukázal na interpretaci bohrovských kvantových podmínek pomocí stojatých vln. Co však předpověděl? Pokud vím, nic. Byla tedy interference katodových paprsků výsledkem pokusů? Ani v tom není jistoty. Skutečná fakta jsou taková: řídíce se Einsteinovou poznámkou přemýšleli jsme s Frankem o vlnách de Broglieových. Jednou jsem dostal dopis od Davisona z Ameriky. Davison v něm uváděl výsledky měření odrazu elektronů od krystalů niklu a ptal se, mohou-li mít smysl podivná maxima jeho křivke. Jak došlo k tomu, že jsme je spojovali s de Broglieovými vlnami, nemohu dnes říci. Jistý vztah k tomu měly Einsteinovy poznámky a také úvahy o Ramseyově efektu. Nějak jsme do toho zavlékli Frankova žáka Elsasera. Elsaser našel správný výklad a de Broglieova formule byla potvrzena. Definitivní důkazy podal Davison a J. J. Thomson. Je zajímavé, že člověku, který našel korpuskulární charakter katodových paprsků, připadl osud dokázat jejich vlnovou povahu.

Taková je historie této otázky, která ovšem nijak nezmenšuje význam de Broglieových objevů. Taková je již cesta vědeckého rozvoje.

Skutečnou plodnost těchto myšlenek odhalil Schrödinger. Objevil jejich souvislost s Hamiltonovými pracemi o dynamice a o geometrické optice a sestavil vlnovou rovnici, která platí nejen pro volné elektrony, ale také pro elektrony vázané v atomech. Vypracoval také operátorové vyjádření fyzikálních veličin. Jeho metoda má pozoruhodnou přednost v tom, že zařazuje podivné rovnice nekomutativní fyziky do matematické analýsy.

Vyjádríme-li na příklad impuls p difinciálním operátorem $\frac{\hbar}{2\pi i} \frac{d}{dq}$, pak vztah

$pq - qp = \frac{\hbar}{2\pi i}$ se převede na triviální vztah, platný pro každou funkci

$$\frac{d}{dq} [qf(q)] - q \frac{d}{dq} f(q) = f(q).$$

Zavedou-li se takové diferenciální operátory do rovnice energie, dostaneme v mechanice Schrödingerovu rovnici. Připomeňme, že tato mohutná synthesa vlnové teorie a mechaniky vznikla nezavisle na maticové mechanice. Schrödinger později ukázal jejich ekvivalentnost a mnoho aplikací ve starých i nových problémech.

Nová teorie byla však velmi formální. Nikdo nevěděl, co reálně označují Schrödingery vlnové funkce. A zase i tato otázka byla zodpovězena na podkladě experimentálních faktů a nikoli volnými rozumovými imaginacemi. Statistická interpretace de Broglieových vln mne napadla, poněvadž jsem znal pokusy s atomovými srážkami, které jsem studoval u svého kolegy, experimentátora J. Franka. Celý rozvoj kvantové mechaniky ukazuje, že souhrn pozorování a měření vytváří zvolna abstraktní formule pro jejich zhuštěný popis, a že pochopení jejich významu přichází potom. Dověřeno to bylo Heisenbergovými úvahami o nemožnosti změřit zároveň přesně polohu a rychlost a jiných podobných „konjugovaných“ dvojic veličin (relace neurčitosti), které byly provázány mnoha abstraktními matematickými výzkumy, hraničícími s gnoseologií a filosofií (Jordan, Dirac, Neuman a jiní).

Podstata statistické interpretace je tato: čtverec Schrödingery funkce ψ pro soubor částic představuje pravděpodobnost, že se částice budou nacházet v místech (s rychlostmi nebo s argumenty) určených jejími argumenty. Bylo by velmi lákavé mluvit o tomto pozoruhodném tematiku, zejména o relacích neurčitosti a o problému kauzality a determinismu ve fyzice. Rámec tohoto článku mi však dovoluje jen několik poznámek.

Podle klasické mechaniky určují konfigurace a rychlosti všech částic uzavřené soustavy v daný okamžik úplně její budoucí pohyb. V kvantové mechanice existuje také veličina, která je určena svou počáteční hodnotou, a to právě funkce ψ . Avšak z funkce ψ lze najít nikoli konfigurace a rychlosti částic, nýbrž jen pravděpodobnost určité konfigurace nebo pravděpodobnost určitého souboru rychlostí. Je proto situace, pokud jde o determinismus podstatně odlišná.⁷⁾

V termodynamice se užívalo statistických metod dlouho před vznikem kvantové mechaniky. Statistické metody se pokládaly za výraz nedostatečnosti našich znalostí, s tajnou nadějí, že tento nedostatek bude možno odstranit. V nové teorii existuje přirozená mez pro zdokonalování našich informací, a statistika se stává nedílnou částí mechaniky samé.

Termodynamická statistika se stala ústřední částí fyziky a je nutno se alespoň letmo podívat na její vývoj.

Termodynamika je klasický příklad pro ilustraci induktivní metody. Nahromaděná zkušenost je tu zhuštěna do dvou zákonů, zákona zachování energie a zákona monotonně rostoucí entropie. Tyto zákony jsou výrazem zejména nemožnosti sestavit perpetuum mobile a stroje, který by mohl načerpat teplo z reservoiru (druhu moře) a plně je přeměnit v mechanickou práci (perpetuum mobile druhého druhu). Whitaker nazval poučky tohoto druhu „principy nemožnosti“ a vyslovil myšlenku, že stačí několik takových principů, a dostaneme všechnu fyziku. Na příklad relativnost je důsledkem naší nemožnosti vysílat signály s neomezenou rychlostí, kvantovou mechaniku lze redukovat na naší nemožnost změřit zároveň souřadnice a impuls atd.⁸⁾

Ať je tomu jakkoli, chci zdůraznit, že žádný princip, tedy ani principy termodynamiky, není dán a priori, nýbrž je důsledkem dlouhé zkušenosti. Člověk se vzdal vždy až teprve po úporném boji. V této souvislosti však zasluhuje zvláštní zmínky případ Roberta Mayera. Mayer byl lékařem, a jeho vědecká fantazie byla namířena na zkoumání ekvivalence tepla a mechanické práce pozorováním různé barvy lidské krve v tropech a v našem podnebí. Z tohoto zvláštního východiska došel nakonec k metodě pro stanovení mechanického ekvivalentu tepla z jednoduchých vlastností plynů. Uveřejnění jeho práce bylo však odmítnuto, neboť práce byla bohatě provázána filosofickými a metafyzickými úvahami. To tehdy nebylo doporučením pro fyzikální teorii. Z druhé strany byly bez překážek přijaty práce o pečlivých měřeních Jouleových a matematické úvahy Helmholtzovy. Vůči Mayerovi to bylo tvrdé a snad nespravedlivé, neboť Mayer podal přesvědčivý důkaz, jak později přiznali Joule a Helmholtz. Vynasnažíme se vzít si poučení z této smutné historie. Odmítneme-li některé filosofické argumenty, nebude to znamenat, že odmítáme jakoukoli teorii, k níž se vztahují. Prosím, aby toto bylo vzpomenu, budu-li nucen kritizovat některé současné autory.

⁷⁾ Born tu pod determinismem rozumí, jak plyne i z jiných jeho prací, laplaceovský determinismus, vylučující náhodnost. *S. G. S.*

⁸⁾ Whitakerova formulace je bezobsažná, nemluvě o jejím antropomorfním charakteru. Naše poznávání jde vpřed objevy pozitivního obsahu zákonů. Teprve po objevu zákona zachování a přeměny energie se stalo jasným, proč nemůžeme postavit věčně jdoucí motor, a právě na znalosti tohoto zákona spočívá rychlý a úspěšný rozvoj techniky. To vše platí i pro ostatní principy. *S. G. S.*

Termodynamika vykazuje jeden podivuhodný rys. Nemnoho jednoduchých a negatívnych pouček vede k tak širokým důsledkům, jako jsou existence absolutní teploty a entropie, existence mnoha numerických vztahů mezi určitými veličinami, jako specifické teplo, stlačitelnost, šíření tepla, galvanoelektrické a termoelektrické koeficienty atd. Termodynamika je však přes svůj název jen formálním svazkem mezi termickými a dynamickými vlastnostmi. Reálné totožnost tepla a pohybu byla zjištěna kinetickou teorií, zpočátku kinetickou teorií plynů, později kinetickou teorií i jiných obecnějších systémů. Znáte jistě základní myšlenku: je nemožné a není ani nezbytné znát každou podrobnost pohybu každého z nepřeledného množství atomů v kusu látky. Stačí znát jejich průměrné chování, aby bylo možno předvídat měřitelné veličiny. Tak se zavádí do mechaniky statistika. Principy statistické mechaniky se vyvíjely krok za krokem, cestou „zkoušek a omylů“, od prvního, Maxwellem stanoveného zákona o rozložení rychlostí do složitějších zobecnění Boltzmannových, Gibbsových, Fowlerových a Darwinových. Tyto principy operují ovšem s pojmem pravděpodobnosti a sdílejí jeho protikladný charakter. Podle mého chápání jediným zdůvodněním doktriny pravděpodobnosti, která se zdá alespoň ne mystičtější než věda vůbec, je empirické hledisko: pravděpodobnostní zákony platí úplně stejně jako jiné fyzikální zákony v důsledku souhlasu jejich důsledků se zkušeností. Vývoj statistické fyziky toto hledisko demonstruje. Každá statistika závisí na volbě stejně pravděpodobných případů, nebo obecněji na volbě váhy daného rozložení. Je pravda, že invariantní vlastnosti rovnic klasické fyziky tuto volbu poněkud omezují (podle tak zvaného Liouvillovy věty), avšak výsledek, že statistická váha je úměrná objemu ve fázovém prostoru (souřadnice a impulsu) může být ospravedlněn jen souhlasem důsledků s pozorováním.

Totéž platí pro modifikace, zavedené kvantovou teorií. Popis statistických vah pro kvantové systémy je dokonce jednodušší: každý stav dané energie, který nelze žádnými fyzikálními prostředky členit na několik stavů, má tutéž váhu. Tento předpoklad se znamenitě potvrzuje. Aplikuje-li se na příklad na elektrické oscilátory, které emitují a absorbují záření, dostane se Planckův zákon.

Právě tento příklad lze však brát také z jiné stránky, což vede k novému fundamentálnímu výsledku. Podle de Brogliea musí být záření samo ekvivalentní plynu, sestávajícímu ze světelných kvant neboli fotonů, na který lze kvantovou statistiku aplikovat přímo (bez použití oscilátorů). Bereme-li nyní tyto fotony jako částice s vlastní individualitou, Planckův zákon nedostaneme. Na místě toho je nutno předpokládat, že dva stavy, jež se liší jen záměnou dvou fotonů, jsou fyzikálně stejné, a že statisticky je nutno pokládat je za týž stav. Jinými slovy, fotony nemají vlastní individuality. Bose a Einstein rozšířili tento předpoklad na jiné plyny a dokázali, že pro extrémně nízké teploty a vysoké tlaky musí dojít k odchylkám od obyčejných zákonů pro plyny.

Tyto podmínky nelze bohužel realizovat experimentálně, a to, co nás zajímá, to jest, že částice nemají vlastní individuality, by zůstalo jen teoretickou spekulací, kdyby se to nepotvrdilo jinou úvahou.

Potvrzení přinesla spektroskopie.⁹⁾ Prvním krokem byl Goudsmithův a Uhlenbeckův objev spinu elektronu. K objevu došlo těsně před objevem vlnové mechaniky, kdy se empirická fakta interpretovala v termínech mechaniky elektronu. Šlo o to, že mnoho spektrálních čar vykazovalo jemnou strukturu (dublety, triplety atd.). Tato fakta nebylo možno vysvětlit, pokládal-li se elektron za bezstrukturální částici. Bylo možno je vysvětlit jen za předpokladu, že se elektronu připíše rotační pohyb, a aplikují-li se na tento pohyb — spin — známá kvantová pravidla (Sternův-Gerlachův efekt).

Druhý krok souvisel se spektroskopií. Klíčem k pochopení atomových spekter je vzpomenuť již Ritzův princip: všechny spektrální čáry dostaneme z rozdílů $\nu_{nm} = T_n - T_m$, $n, m = 1, 2, \dots$ Od samého počátku bylo však jasné, že ne všechny tyto rozdíly odpovídají reálným pozorovaným čarám a že je nutno formulovat tak zvaná pravidla výběru a eliminace. Když se podařilo Bohrovi interpretovat termy T_n jako energetické hladiny elektronových drah a když se ukázalo, že lze připsat každému elektronu určité kvantové číslo, zjistilo se, že je nutno vyloučit nejen přechody mezi dvěma elektronovými stavy, ale že se nesetkáme dokonce ani s některými mechanicky možnými stavy. Pauli formuloval tento princip eliminace velmi jednoduše: stavy, v nichž by dva elektrony měly mít touž řadu kvantových čísel (včetně spinového čísla) neexistují, a navíc, dojde-li u dvou

⁹⁾ Skutečný vývoj byl takový, jak se o tom mluví v textu: v objevu spinu elektronu a v potvrzení Boseovy-Einsteinovy statistiky měly úlohu spektroskopické výzkumy. Extrémně nízkých teplot se však podařilo experimentálně dosáhnout, a skutečně se zde našly předpověděné odchylky od normálních zákonů, platných pro plyny.

elektronů k vzájemné výměně kvantových čísel, budou příslušet témuž stavu celého atomu.

Setkáváme se tu znovu s tím, že částice nemají vlastní individualitu, avšak na podkladě mnohem odtazižitějších údajů. Nesmíme totiž zapomínat, že Pauliho eliminační princip spočívá na experimentálních faktech, jako je okolnost, že není nejnižšího stavu heliového atomu, a že eliminační princip je potvrzován nesmírně mnoha důsledky. Z nich nejdůležitější je výklad periodické soustavy prvků, který je v podstatě založen na myšlence uzavřených elektronových slupek, vyplývající z Pauliho principu.

Z hlediska vlnové mechaniky lze situaci popsat takto: Uvažujme funkci $\psi(n_1, n_2)$, kde n_1 a n_2 jsou kvantová čísla dvou nerozlišitelných částic. Řekli jsme již, že čtverec ψ^2 představuje pravděpodobnost, že částice budou ve stavech n_1, n_2 ; okolnost, že částice nemají vlastní individuality, vyjadřuje vztah $\psi^2(n_1, n_2) = \psi^2(n_2, n_1)$. Odtud plyne buď $\psi(n_1, n_2) = \psi(n_2, n_1)$, nebo $\psi(n_1, n_2) = -\psi(n_2, n_1)$. Z druhého vztahu plyne $\psi(n, n) = 0$, což je zřejmě analyticky vyjádření Pauliho principu. Ukázalo se nyní, že nikoli tento, nýbrž první případ ($\psi(n_1, n_2) = \psi(n_2, n_1)$) odpovídá Boseově-Einsteinově statistice, zatímco druhý případ se týká zcela jiného chování soustavy. Statistické důsledky tohoto případu, platného pro elektrony i pro protony (a jiné částice) zkoumali Fermi a Dirac.

Symetrie vlnových funkcí a Pauliho princip jsou podstatnou součástí kvantové mechaniky. Snad se mi podařilo vás přesvědčit o tom, že tyto vlastnosti byly nalezeny během dlouhého induktivního procesu, v němž záblesky vědecké fantasie se střídaly s úporným pozorováním a interpretací faktů. Bylo to období ideální spolupráce experimentátora a teoretika. Nebylo prestižních otázek, ani ze strany experimentátora, ani ze strany teoretika, byla vzájemná pomoc a povzbuzování.

Jakmile byly vybudovány kvantová mechanika a kvantová statistika, bylo umožněno nepočítaně analytických předpovědí, z nichž mnohé byly experimentálně potvrzeny. Elektronovou strukturu atomů a molekul bylo možno propočítat, podobně jako mohl Newton propočítat strukturu naší planetární soustavy.

Nejdůležitějšími výsledky byly výklad pásových čárových spekter, výklad povahy metalického stavu a výklad chemické valence. Počet předpověděných nebo potvrzených pokusů byl ohromující. Jednou z nejpozoruhodnějších byla Heisenbergova předpověď dvou typů vodíkových molekul: paravodíku a ortovodíku.

Zdálo se, že teoretická formule definitivně a vítězně řídí experiment.

Avšak běda! Tato vláda trvala jen krátkou dobu. Přišla nová vlna experimentálních objevů, z nichž mnohé zcela nečekaně, které nezapadly ani skrytě do přijaté teorie.

Většina z nich se týkala radioaktivity, kosmického záření a atomového jádra. Snad nejnečekanější byl Chadwickův objev neutronu. Tento objev úplně změnil naše představy o struktuře atomového jádra a ukázal cestu, jak ji zkoumat pomocí kvantové mechaniky. Vcelku lze říci, že asi od roku 1930 ovládal experiment teorii. Došlo však také ke dvěma fundamentálním teoretickým předpovědím, k předpovědi existence dvou elementárních částic — positronu a mesonu.

Je však pozoruhodné, že ani objev těchto dvou elementárních částic není produktem čistého myšlení, nýbrž konečným výsledkem dlouhé řady experimentálních výzkumů. Positron je spjat s dirakovskou lineární vlnovou rovnicí elektronu s přihlédnutím k jeho spinu. K výkladu historie této rovnice by bylo třeba zvláštní přednášky. Snad bude stačit, řekneme-li, že spin elektronu, který — jak jsme vložili — byl objeven typickou indukcí ze spektroskopických údajů, zejména z multipletové povahy jistých spektrálních čar, byl zaveden do kvantové mechaniky zavedením řady jednoduchých matic, představujících dva usměrněné stavy spinu (Pauli), a že každý další krok v rozvoji spinové teorie byl stimulován a prověřen spektroskopickými fakty. Dirac věc mimořádně zpravenil ukazav, že relativistické zobecnění Schrödingerovy vlnové rovnice — které se přirozeně nabízel — vede ke spinu. Zde by bylo velmi obtížné vykládat, jak fyzikové došli ze studia řešení dirakovských rovnic k představám o stavech se zápornou energií, a jak se Diracovi podařilo smířit tuto představu s našimi tradičními představami o energii tím, že nezaplněné stavy interpretoval jako positrony. Musím poznamenat, že zpočátku byl Dirac přesvědčen o tom, že kladně nabitě částice v jeho teorii jsou protony. Sám se však opravil, když zjistil, že „díry“ neodpovídaly velké hmotě (masse) a uznal je za kladné elektrony, když tyto byly v kosmickém záření skutečně objeveny (Anderson, Blackett).

Pokud jde o mesony, pokusím se vyloučit některé myšlenky, které vedly japonského fysika Yukawu k tvrzení o existenci nových částic, jejichž hmota leží mezi hmotou elektronu a protonu. Východiskem byla existence sil, jež udržují v jádře neutrony a pro-

tony. Yukawa uváděl, že potenciál tvaru $\frac{e^{-r/a}}{r}$ by měl požadované vlastnosti, kdyby

konstantní délka a byla zvolena řádově rovna rozměrům jádra (10^{-13} cm). Tento potenciál je zobecněním coulombovského potenciálu $1/r$ elektrických sil (náboj 1) a vyhovuje nikoli laplaceovské rovnici $\Delta\Phi = 0$, nýbrž poněkud modifikované rovnici $\Delta\varphi = \frac{\Phi}{a^2}$. Zde lze – podobně jako lze elektrostatiku pokládat za zvláštní případ elektrodynamiky, popisované Maxwellovými rovnicemi – zkonstruovat dynamické Yukawovo pole, které obsahuje výše uvedené pole jako statický případ. Každá komponenta pole vyhovuje místo obyčejné rovnici $\Delta\Phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} = 0$ pozměněné Yukawově rovnici

$$\Delta\Phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} = \frac{\Phi}{a^2}. \quad (4)$$

Úplné rovnice pole mohou být získány z principu nejmenšího působení. Liší se tvarem od analogických rovnic elektrodynamiky (viz (2), str. 448) přítomností dodatečného členu $\frac{1}{2}a^2(\Phi^2 - A^2)$ v integrandu.

Tyto rovnice mají řešení, jež ukazuje na existenci rovinných vln, podobně jako u Maxwellových rovnic, a podle obecného de Broglieova principu musí existovat částice, která je s těmito vlnami spjata, analogicky tomu, že světelným vlnám odpovídají fotony. Podle teorie relativity závisí energie částic o hmotě m na impulsu p vztahem

$$\left(\frac{\varepsilon}{c}\right)^2 = m^2c^2 + p^2. \quad (5)$$

Dosažením ze vztahů (Planckova a de Broglieho) $\varepsilon = h\nu$, $p = hk$ dostaneme

$$\left(\frac{v}{c}\right)^2 = \left(\frac{mc}{h}\right)^2 + k^2. \quad (6)$$

Z druhé strany vede Yukawova vlnová rovnice (4) pro $\Phi = A \sin 2\pi(\nu t - kx)$ k témuž vztahu mezi v a k za podmínky

$$\frac{mc}{h} = \frac{1}{2\pi a}. \quad (7)$$

To je vztah mezi délkou a ($\approx 10^{-13}$ cm) působení nukleárních sil a hmotou m částic, spjatých s vibrujícím Yukawovým polem. Z tohoto vztahu plyne

$$m = \frac{h}{2\pi ac} = \frac{6 \cdot 10^{-27}}{2\pi \cdot 10^{-13} \cdot 3 \cdot 10^{10}} = 3 \cdot 10^{-25} \text{ g}. \quad (8)$$

Tato hmota je několiksetkrát větší než hmota elektronu (10^{-27} g), avšak zřejmě menší než hmota protonu (1800 elektronových hmot).

Tak došel Yukawa k předpovědi nové částice, zvané dnes meson, která byla později objevena v kosmickém záření. Ani zde nejde o produkt apriorních principů, nýbrž o důvtipnou synthesisu bezpečně zjištěných faktů s jednoduchou hypotézou.

Myslím, že tyto příklady dostatečně osvětlují, jak se teorie vytváří a jak se aplikuje.

Sir Ch. G. Darwin, můj předchůdce na katedře v Edinburghu, řekl jednou asi toto: „Obyčejný člověk (řekněme my) může vidět věc, má-li ji na palec před nosem; mnoho lidí ji uvidí na dva palce před nosem; dokáže-li někdo uvidět ji na tři palce před nosem, je to geniální člověk.“ Snažil jsem se popsat vám něco z činnosti těchto „dvou“ nebo „třípalcových“ lidí. Moje nadšení pro tyto lidi není nijak tlumeno poznáním, že oni obračeli všehnu lidskou zkušenost k místu, kam bylo třeba strkat nos. Ani jsem se nijak nesažil rozebírat eleganci, nebo dokonalost, nebo jednoduchost přírodního zákona, který zčásti řídil směr dohadů. Jsem přesvědčen, že taková analýsa by nebyla k ničemu. Učme se něčemu novému z každého nového případu a já nejsem ochoten přijmout definitivní teorie o neměnných zákonech lidského rozumu.

Musíme se však vrátit a aplikovat získané výsledky na ještě nevyřešené fyzikální problémy, zejména však také na Eddingtonovu filosofii. Přes brilantní výsledky posledního období je situace teoretické fyziky stejně problematická, jako kdykoli jindy, necháme-li stranou pyšné doby poklidné královny Viktorie, kdy se věřilo, že všechny záhady byly již objasněny. Máme několik elementárních částic, fotony, elektrony a pozitrony, neutrony a protony, nabitě a neutrální mesony a snad neutrino. Každá z nich je spjata s vlnovou funkcí a má charakteristické konstanty (hmota, náboj), které figurují ve vlnové rovnici.

Stěží se nám však podařilo všechny uvést v souvislost a nemáme teorie, které by vysvětlovaly bezrozměrnost poměrů různých konstant, na příklad poměr 1845 hmoty protonu a hmoty elektronu. Zvlášť záhadná je bezrozměrnost čísla, které vzhledem k tomu, že bylo poprvé stanoveno v souvislosti se spektroskopii (Sommerfeld), se nazývá konstantou jemné struktury. Jde o poměr $\frac{hc}{2\pi e^2}$, kde e je náboj elektronu; hodnota tohoto

poměru je empiricky stanovena na 137 (přibližně). Máme kvantovou teorii jádra, která dala mnoho důležitých výsledků. Zdá se však, že je stejně dočasná, jako byla bohrovská kvantová teorie před objevem vlnové mechaniky.

Mnohem vážnější je nemoc „nekonečností“. Nekonečnosti mají dvě formy, reprezentované dvěma jednoduchými případy: elektrostatické energie nabitě koule o poloměru r je, necháme-li stranou numerický faktor, e^2/r . Konverguje-li poloměr r k nule, stává se tato energie nekonečnou. Má tedy bodový náboj nekonečnou energii (nebo — podle Einsteina — nekonečnou hmotu (massu)). Dále, energie kvantového oscilátoru není $h\nu n$ (jak se původně domníval Planck), kde n je přirozené číslo, nýbrž $h\nu(n + \frac{1}{2})$. Existuje tedy (pro $n = 0$) nulová energie $\frac{1}{2}h\nu$, a proto každá soustava, kterou lze (podle Fourierovy věty) pokládat za superpozici nekonečně mnoha harmonických oscilátorů (na příklad dutina, zaplněná zářením), má nekonečnou nulovou energii. S podobnými nekonečnostmi se setkáváme v mnoha úvahách o interakcích částic a záření, a na jejich likvidaci bylo vynaloženo mnoho úsilí a důvtipu.

Aby vyloučili nekonečnost vlastní energie, změnili Dirac, a jiní tvar definice energie a impulsu v mechanice a elektrodynamice. Já sám jsem došel k závěru, že tato nekonečnost je fundamentálním nedostatkem Maxwellových rovnic, a zaměnil jsem tyto rovnice zobecněnou grupou. Ač nové rovnice jsou nelineární a pravděpodobně obtížně zvládnutelné, dávají jistotou chanci být blíže pravdě, poněvadž se objevují v nové Schrödingerově teorii, která je syntésou gravitace, elektrodynamiky a mesonové teorie. Druhý typ nekonečností je tvořen nekonečným počtem frekvencí, na jejichž odstranění fyzikové rovněž vynaložili s menším nebo větším úspěchem mnoho práce (Dirac, Heitler a jiní).

Eddington byl, podobně jako my všichni, zneklidněn těmito obtížemi, a učinil zajímavý pokus o jejich překonání. Jeho hlavní myšlenkou bylo, že podstatnou obtíž v teorii lze vždy vysledovat zpět až do gnoseologického omylu, do nesprávného nebo celkem úzkého pojmu. S tím souhlasím. Avšak v jeho snaze napravit tyto omyly konstrukcemi, které pokládá za gnoseologický důkaz, ho následovat nechci. Mám pochybnosti o tom, jak daleko dohlédne, před svůj nos“. Eddington na příklad dostává numerické hodnoty pro vzpomenu dvě bezrozměrné konstanty $\frac{hc}{2\pi e^2}$ a poměr hmot protonu a elektronu.

Tato bezrozměrná čísla jsou vyjádřena v termínech abstraktního „fázového prostoru“. Matematická teorie tohoto prostoru tak zvaných čísel- E je velmi elegantní a je podána v takovém tvaru, že vnukává nejvíce přirozenější myšlenkové konstrukce. Nelze však přehlížet skutečnost, že nikdy nikdy čísla- E neviděl, než byla vypracována teorie spinu, která sama byla závěrem dlouhé řady abstrakcí, k nimž jsme byli přinuceni experimentem. A kdyby čísla- E existovala v matematice, jako existují různé nekomutativní algebry, tu před tím, než byl z pozorování vyvozen pojem spinu a jeho vlastnosti, nikdo by neuhodl ani jak těchto čísel použít ve fyzice, ani jejich význam. Eddington spojuje bezrozměrné fyzikální konstanty s dimensemi (n) jeho prostorů- E a jeho teorie vede k funkci $f(n) = \frac{1}{2}n^2(n^2 + 1)$, která pro $n = 2, 4, 6, \dots$ dává hodnoty 10, 136, 666, ...¹⁰⁾.

V době, kdy Eddington začal svou práci, byla experimentálně zjištěná hodnota veličiny $\frac{hc}{2\pi e^2}$ blížká 136 = $f(4)$. Pozdější pokusy daly větší hodnoty, a dnes je hodnota této veličiny velmi blížká 137. Eddington podle toho upravil svou teorii, přidav jedničku.

¹⁰⁾ Jsou to skutečně apokalyptická čísla. Ve „Zjevení sv. Jana“ (kap. XIII, 1, 5, 18) čteme: I viděl jsem šelmu vystupující z moře, kteráž měla sedm hlav a deset rohů; ...

... a dána jí moc vládnouti za čtyřiceti a dva měsíce.

... sečtíž počet té šelmy; ... a jestiž počet ten šest set šedesáte a šest.

(podtrženo J. V.).

Je nyní (viz Eddingtonovu funkci v textu) $10 = f(2)$, $666 = f(6)$. Číslo 42 lze vyjádřit Eddingtonovou funkcí buď ve tvaru $1 \cdot f(3) - 3 \cdot f(1)$ nebo $\frac{1}{2}(f(4) - f(2))$.

Také poměr hmot protonu a elektronu byl vyjádřen těmito čísly, a to jako poměr kořenů kvadratické rovnice $10x^2 - 136x + 1 = 0$, který je roven 1847,9, což je blízké experimentálně zjištěné hodnotě 1836,5 (jíz nutno dále korigovat).

Nemohu kritisovat původ těchto výrazů, poněvadž se mi nepodařilo je pochopit. Mám za to, že několik málo souhlasů tohoto druhu, které nejsou žádnými opravdovými předpovědmi, které však vyjadřují veličiny známé z pokusů, jsou slabým důkazem pro nosnost teorie. A máme v této souvislosti jiné předpovědi? Ani neutron, ani meson Eddington nepředvídal. A přihlédneme-li k počtu částic ve vesmíru, je málo naděje na experimentální prověření, i když připouštím, že by mohlo jít o užitečný pojem. Jsem dalek toho napadat Eddingtonovu teorii nebo vyslovovat pochybnosti o jejich výsledcích. Kdyby se ukázalo, že jsou správné, měl bych radost. Připsal bych však (možný) úspěch nikoli eddingtonovské filosofii jako doktríně, za níž musí následovat jiné, nýbrž jeho osobnímu genu a intuici.

Dovoľte mi nakonec říci něco o Milneově teorii, o které jsem se zmínil na začátku. Také tato teorie tvrdí, že je třeba odvodit universální přírodní zákony z gnoseologických principů. Jedním z těchto principů je „operacionalistická metoda“ definování. Název pochází od amerického fysika Bridgmana. Jde o proceduru ve fysice velmi obvyklou. Spočívá v požadavku, že fysikální veličiny nutno definovat nikoli slovním redukováním na jiné dobře známé pojmy, nýbrž předpisem operací, nutných k tomu, aby byla dána a změřena. Toto zdravé pravidlo je reakcí na slovíčkářství a fetišismu sloves. Je velmi užitečné v klasické fysice, kde máme co činit s veličinami, jež možno přímo měřit, na příklad v termodynamice (Bridgeman sám je v této oblasti odborníkem), nebo v elektrodynamice. Tak na příklad je rozumné zavést teplotu popisem termometrických operací, nebo určit elektrické pole s přihlédnutím k silám, působícím na malá nabitá pokusná tělesa. Avšak operacionalistická definice je velmi nevhodná, chceme-li rozšířit pojem pole na atomové jádro a elektrony, a v kvantové teorii se operacionalistická definice setkává s neúspěchem.

Vlnová mechanika má katalog „pozorovatelných“. To však neznamená, že příslušné veličiny jsou takové proměnné, jejichž hodnoty by bylo možno měřit. Jsou to diferenciální nebo integrální operátory, u nichž lze měřit jejich charakteristické hodnoty. Nevídlm však, jakou experimentální „operaci“ by bylo nutno vynalézt, aby bylo možno definovat matematický operátor. Kromě toho jsem se již zmínil o tom, že jsou pojmy, používané ve vlnové mechanice, které nejsou pozorovatelné, na příklad Schrödingerova vlnová funkce. Nemáme principiálně žádných prostředků pro její pozorování, nemůže být tedy žádné její „operacionalistické“ definice. To však se netýká Milneho, neboť on se zabýval hlavně astronomií. Podívejme se, jak aplikoval operacionalistický princip.

Všechny empirické poznatky o hvězdách spočívají na světle, které k nám přichází z vesmíru, a na jeho interpretaci pomocí pozemských přístrojů, dalekohledů, spektroskopů, hodin. Milne redukuje svou hlavní úvahu na použití jediných hodin. Odmítá připustit pozorovatelnost mezihvězdných distancí a navrhuje redukovat tento pojem na výroky o době, ve které dojdou signály. Za tímto účelem předpokládá existenci pozorovatelů na jiných nebeských tělesech s hodinami a časovými signalizačními zařízeními. Elementární operace pro výzkum prostoru je tato: vyšleme světelný signál v okamžiku t_1 podle našich hodin. Signál dojde k pozorovateli na jiné hvězdě, odrazí se a vrátí k nám v okamžiku t_2 podle našich hodin. Nese s sebou přitom informaci o čase τ , ve kterém signál došel k hvězdě podle tamních hodin. Milne hodlá z těchto údajů t_1 , t_2 , τ (často opakovaných) vypracovat základy geometrie, kinematiky a dokonce i dynamiky vesmíru.

Milne tu svými hodinami a světelnými signály sleduje dobře známou metodu, jíž použil Einstein, aby prokázal absurdnost pojmu absolutní současnosti, a která ho vedla k Lorentzovým transformacím. Je tu však fundamentální rozdíl. Světelný signál Einsteinův prolétává mezi dvěma body na též nebeském tělese, a nikoli od jedné hvězdy k jiné hvězdě. Einsteinův model je jen abstrakcí a zjednodušením skutečného pozorování, daného negativními výsledky Michelsonova a Morleyova pokusu. Kromě toho nebyly Lorentzovy transformace odvozeny touto cestou (v tomto případě by se nazývaly Einsteinovy transformace), byly již známy. Lorentz je odvodil studiem Maxwellových rovnic a použil jich v interpretaci Michelsonova pokusu. Jak to obvykle ve fysice bývá, byl gnoseologický závěr Einsteinův učiněn po formálním objevu, což vyvolalo velký údiv zastánců myšlenky absolutního času.

Milneovy operace nejsou nějakou idealisací reálných pokusů. Zdájí se mi nepochopitelnou smyšlenkou: pozemské světlo, odražené od nehybné hvězdy! Což někdy někdo viděl něco podobného? A uvidí to někdo v budoucnosti? A pozorovatelé s hodinkami na jiných hvězdách, hodinkami, osvětlenými světlem, přicházejícím od nás, takže můžeme na nich po návratu světla k Zemi odečítat čas! Nebo pozorovatelé, kteří nám zdvořile udávají

svůj čas pokaždé, když k nim dojde náš signál?! Jsem na rozpacích, mám-li takovým fantasiím přiznat realistickou myšlenku o operacionalistickém definování.

To však není všechno. U Milneho najdeme ještě jiné předpoklady a gnoseologické principy. Jeho pozorovatelé nejsou na libovolné hvězdě, nýbrž ve spirálních mlhovinách, galaxiích, které — podle dnešních astronomických poznatků — jsou kosmickými ostrovy, jichž je nespočetně mnoho a které jsou rovnoměrně rozsety v celém vesmíru. Každá z těchto galaxií sestává z mlhovin a milionů hvězd, podobně jako naše Galaxie. Milne však v nich vidí individuální objekty a uvádí jejich hmoty (massy). Přijímá pak princip jednotnosti, zejména pak fakt, že pozorovatel najde tytéž přírodní zákony a tytéž stránky vesmíru (pomocí svých hodin a časových signálů), ať jde o kteroukoli galaxii. Tomu se říká gnoseologický princip. V Milneově formulaci je však jeden empirický „fakt“ — existence absolutní časové nuly, období stvoření. A za tímto podivným předpokladem je řada astronomických pozorování, zejména rudý posuv spektrálních čar. Bylo zjištěno, že tento rudý posuv roste s růstem vzdálenosti mlhoviny, a vykládá se jako dopplerovský efekt. Ukazuje se, že soustava galaxií se rozpíná všemi směry. Tento podivný fakt vyvolal mnoho spekulací, a ukázalo se (Lemaitre, Robertson a jiní), že Einsteinova obecná teorie relativity připouští řešení rovnice pole, které představují takový rozpínající se vesmír. Poněvadž však je možno pozorovat jen okamžité rozložení rychlostí, jsou všechna tvrzení o minulosti a budoucnosti vesmíru hypotézy, nikoli fakta, a extrapolace teorii. Milne zvolil předpoklad, že vesmír se rozpíná z počátečního stavu nesmírné hmotné koncentrace a tvrdí toto: svět byl stvořen před $2 \cdot 10^9$ lety ve formě nahromadění hmoty v malém prostoru.

Milneův výklad rozpínání vesmíru spočívá v jednoduché poznámce, že masy, soustředěné v jednom místě v počátečním okamžiku, měly různé rychlosti, a že proto v každém dalším okamžiku se rozprostíraly tak, že hvězda s větší rychlostí musela být dále než hvězda s rychlostí menší. To je také skutečně výsledek dopplerovského výkladu rudého posuvu. Schrödinger mi jednou řekl, že mu tato situace připomíná člověka, dívajícího se na koňské dostihy, který se podivuje tomu, že přední koně jsou zřejmě nejrychlejší a v zápětí se nadchne zřejmou „kinematickou“ interpretací. Totéž se asi přihodilo Milneovi v tom stupni, že věnoval neuvěřitelně mnoho vynalézavosti, aby smířil tento předpoklad s principem relativity a aby z toho odvodil zároveň s postulátem jednotnosti, přírodní zákony včetně gravitace a elektrodynamiky.

Obyčejný fyzik nebude asi následovat Milneho do vysokých sfér jeho idejí. Mezihvězdný prostor není prázdný a hmota interaguje se světlem (rozptyl, pohlcování, vyzářování). Světelné signály, prolétávající obrovské vzdálenosti mezi galaxiemi, mohou být podrobeny podstatným účinkům takových interakcí. Je nesprávné vylučovat od samého počátku tuto možnost tím, že se geometrie a kinematika založí na světelných signálech, bez veškerého ohledu na to, co bylo řečeno výše. Připustí-li se totiž milneovská metoda výzkumu prostoru pomocí světelných signálů a hodin jen pro relativně blízké soustavy (kde lze mezihvězdnou hmotu zanedbat), dojde se (Robertson) k einsteinovskému vesmíru. Je třeba dále přihlédnout k tomu, že interakce světelných vln s mezihvězdnou hmotou může vést nebo dokonce i vyvolat rudý posuv.¹¹⁾

Nakonec, vesmír rostl podle Milneho neobyčejně rychle. Spolehlivými radiogeologickými metodami bylo totiž zjištěno, že kůra naší planety se tvořila nejméně před $1,5 \cdot 10^9$ lety, což jsou asi tři čtvrtiny z celkového trvání vesmíru.

Nu, nejsem odborníkem v kosmologických otázkách a nechci vyzdvihoval slabá místa teorie. Bylo by to nespravedlivé, neboť odvážnými myšlenkami odvodit strukturu světa z nemnoha principů a mistrovstvím v překonávání překážek se lze jen nadchnout. Nechci snižovat ty, kteří se cítí schopnými pro takové riskantní česty.

Jsem však přesvědčen, že ve vědě není vytyčovaných cest s gnoseologickými ukazateli. Jsme v džunglích a hledáme cesty zkoušením a přes omyly. Cestu stavíme za sebou v rytmu, jakým jdeme vpřed. Nenacházíme na křižovatkách ukazatele; naši průzkumníci je teprve vytyčují, aby ukázali cestu dalším. Eddingtonovy a Milneovy myšlenky

¹¹⁾ V posledních letech byl dopplerovský výklad rudého posuvu znovu podepřen. Experimentálně bylo dokázáno, že podobný posuv se ukazuje v širokém vlnovém pásmu od ultrafialového záření k decimetrovým vlnám. Posuv rádiových vln nelze vysvětlit interakcí s mezihvězdnou hmotou, neboť zde jde o vlnové délky různých řádů. Bylo by nepravděpodobné odmítat interakci světelných vln s mezihvězdnou hmotou, avšak tento efekt sotva může plně vysvětlit rudý posuv.

Přesto má Born pravdu v základní otázce, v odmítání celkové Milneovy koncepce, podle níž rudý posuv prý dokazuje, že vesmír vznikl před $2 \cdot 10^9$ lety z nesmírné koncentrace hmoty v bodě. Born správně označuje takové úvahy o minulosti a budoucnosti vesmíru za spekulace.

jsou takovými ukazateli. Nesnáž je v tom, že ukazují nazad. Obě teorie si činí nárok na to, že jsou vybudovány na apriorních principech, velmi se však liší a jsou vnitřně sporné.

Moje přednáška splní svůj účel, nebudete-li v tom, o čem jsem hovořil, vidět nic překvapujícího. To je to, co by očekával vědec empirik. Vy, kteří se chcete o něčem poučit, přijměte moji radu: umění vědecky předvádět nemusí spočívat na abstraktních základech. Jeho úlohou je rozluštit tajný jazyk přírody a jejích dokumentů — experimentálních faktů.

Přeložil dr. Josef Veselka

O ÚLOZE POKUSU A TEORIE V POZNÁNÍ¹⁾

(K článku M. Borna)

S. Suvorov

I

Otiskujeme v tomto čísle překlad Bornova článku „Pokus a teorie ve fyzice“. Autor je známý fyzik, vynikající teoretik, přímý účastník budování dnešní fyziky, který žil přes půl století v jejím tvůrčím ovzduší, v atmosféře ostrých zlomů v chápání fyzikálních a filosofických pojmů. Již proto je jeho článek, v němž poutavou řečí líčí revoluční události ve fyzice, velmi zajímavý. K tomu přistupuje, že článek je psán nejen z historického, ale i z gnoseologického hlediska.

Je známo, že úloha teorie v dnešní fyzice mimořádně vzrostla. Složitě procesy, které nelze přímo vnímat, vyjadřují se velmi abstraktními pojmy a vztahy. Právě to však vede vědu vpřed. Ve fyzice začaly mít kromě toho podstatnou úlohu teorie, charakteristické nesmírnou silou zobecnování, jako termodynamika, teorie relativity. To vedlo u některých vědců k názoru, že teoretické myšlení samo o sobě, bez experimentální základny, by stačilo k poznávání přírody. Na západě, zejména v Anglii, kde Born mnoho let pracoval, byly jistou dobu velmi populární Eddingtonova mystika čísel a Jeansovy spekulace o době, jež uplynula od „stvoření světa“.

Bornův článek je ostře namířen právě proti takovým, vědecky bezvýznamným spekulacím.

Nás může jen těšit, že tak vynikající vědec, jakým beze sporu Born je, vystupuje proti mystice ve vědě.

Born, sám teoretik, snaží se najít správné místo teorie a zdůrazňuje její souvislost s pokusem. Dokazuje, že jakékoli principy, jako je princip nejmenšího působení, termodynamické principy, Pauliho princip, jsou, ať se zdají na první pohled sebe apriornější, zobecněním experimentálních výzkumů, „výsledky dlouhé zkušenosti“.

Několik skeptických poznámek pronesl Born k pozdějším Einsteinovým, Weylovým a Eddingtonovým pokusům postihnout jediným geometrisovaným polem všechnu strukturu světa.

Einstein se v „princetonském období“ svého života držel jen tvůrčí schopnosti myšlení, šel tedy cestou zásadně se lišící od toho, co obhazuje Born. V článku *Physics and relativity* (1955), věnovaném padesátému výročí trvání teorie relativity, hovoří Born o tom, jak Einstein na tento článek, v němž viděl výtku namířenou proti sobě, reagoval: „Poslal jsem jeden výtisk (článek — S. S.) Einsteinovi a dostal jsem zajímavou odpověď, která se bohužel ztratila. Mohu si však vzpomenout zhruba na tuto větu: „Vaše hromování proti hegelianismu je úplně směšné, já však budu dál luštit cesty hospodina ...“. „Člověk einsteinovského měřítká“, uzavírá Born, „který tolik dosáhl myšlením, měl právo jít až na nejzazší mez apriorní metody. Obecně uznaná fyzika ho však nenásledovala; pokračovala v shromažďování experimentálních faktů.“²⁾

¹⁾ С. Суворов, *О роли эксперимента и теории в познании (к статье Макса Борна)*, Успехи физических наук, sv. LXVI, č. 3, 1958.

²⁾ Max Born, *Physics in my Generation*, Pergamon Press, London 1956.