

Louis de Broglie

Nové myšlenky plynoucí z kvantové mechaniky

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 64 (1935), No. 8, D134--D143

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/121209>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1935

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>

body (ekvidistantu i horocykl bylo by lze rozdělit na nekonečný počet stejných dílů v jejich konečné části, ale dělení není možno prováděti v okolí nevlastních bodů).

V případě cyklů předpokládejme, že je umíme rozdělit na konečný počet stejných dílů. Délka celého cyklu jest  $S = 2k\pi \operatorname{Sin} r/k$ , kde  $r$  jest poloměr cyklu,  $k$  jest konstanta hyperbolické roviny. Rozdělíme-li obvod cyklu na šest stejných dílů, pak úhel středový patřící k jedné šestině obvodu jest  $60^\circ$ . Aby trojúhelník  $AOB$  byl rovnostranný, musí  $AO = OB = BA$ . Zvolme za absolutní kuželosečku hyperbolické roviny pro zjednodušení kružnici o poloměru 1. Její střed  $O_1 (0, 0)$  zvolme zároveň za střed cyklu o poloměru  $r$ . Rovnice cyklu jest  $x^2 + y^2 = \operatorname{Sin}^2 r/k$ . Hyperbolická vzdálenost bodů  $AB$  jest  $m(AB) = \frac{1}{2}c \log(CDAB)$ , hyperbolická vzdálenost bodů  $AO$  jest  $m(AO) = \frac{1}{2}c \log(EFAO)$ , při čemž body  $C, D, E, F$  jsou průsečíky spojnice  $AB$  resp.  $OA$  s absolutní kuželosečkou. Výpočtem zjistíme, že

$$(CDAB) = \left( \frac{2 - a^2 - a \sqrt{4 - 3a}}{2 - a^2 + a \sqrt{4 - 3a}} \right)^2,$$

$$(EFOA) = \left( \frac{a + 1}{a - 1} \right)^2, \text{ kde } a = \operatorname{Sin} r/k.$$

Aby trojúhelník  $ABO$  byl rovnostranný, muselo by platiti  $(CDAB) = (EFOA) + 2k\pi$ , což pro  $r \neq 0$  jest nemožné. Tím je dokázáno, že v žádném cyklu uvažovaný trojúhelník není rovnostranný a že tedy důkaz p. autorem provedený neplatí v hyperbolické geometrii. Stejně lze snadným výpočtem dokázati i pro rovinu eliptickou, zvolíme-li za absolutní kuželosečku kružnici o poloměru  $\sqrt{-1}$ , že ani zde neplatí zmíněný důkaz.

## Nové myšlenky plynoucí z kvantové mechaniky.

Louis de Broglie, Paříž.\*)

Chtěl bych Vám dnes několika slovy vyložiti nové myšlenky zaveden do exaktních věd rozvojem nových teorií shrnutých pod název mechanika kvantová nebo vlnová. Vystřihám se však pečlivě vyvozovati z rozvoje jejich představ obecnou filosofii. Vždyť opravdu uplynuly doby, kdy každý pokrok vědy dal vznik rozsáhlým filosofickým systémům, kdy Descartesové a Leibnizové

\*) Přednáška přednesená ve Francouzském ústavu E. Denise v Praze dne 1. března 1935. Přeložil dr. L. Zachoval.

s oblibou stavěli na solidním základu svých objevů metafysické konstrukce více odvážné a méně trvalé. Dnešní vědci — poučení podívanou na postupné hroucení se těchto systémů a přinucení více se specialisovati v technice jediné vědy v důsledku stále rostoucího rozvoje a složitosti lidského poznávání — instinktivně se vzpírají všemu, co se jim zdá příliš odvážnou generalisací nebo metafysickou teorií. Neočekávejte tedy ode mne obecnou filosofii založenou na fyzice kvant. Chtěl bych skromněji se pokusiti jednoduše a bez matematických pomůcek charakterisovati změny některých obecných představ klasické fyziky a také teorie poznání, které — jak se zdá — přináší objev kvantových dějů a jejich teoretický výklad.

V moderní době od XVIII. století až po naše dny spočívaly fyzikální teorie podstatně na dvou základech: na mechanické koncepci hmotného světa, která našla svůj výraz již ve spisech Descartesových, a na domněnce o spojitosti fyzikálních dějů, která dovoľovala pokusiti se o jejich studium za vydatné pomoci infinitesimální analýsy a která byla vyjádřena tak jasně proslulým výrokiem Leibnizovým: „*Natura non facit saltus*“.

Veliký úspěch těchto dvou ideí v mnoha vědních oborech (astronomii, mechanice i vlastní fyzice) způsobil, že většina fyziků — aspoň všichni ti, kteří se neobírali výhradně jen energetickým formalismem — přijímala více nebo méně implicity jednoduchou představu fyzikálního světa: představovali si jej jako nesmírný stroj, který lze popsati — podle slov Descartesových — pomocí tvarů a pohybů, to jest jako stroj složený z částic daných v prostoru a pohyblivých v čase, jejichž pohyby a změny podstatou spojitě, výsledky to vzájemných akcí a reakcí, mohou býti přesně vyjádřeny formulami matematické analýsy. Ježto vzájemné působení mezi různými částicemi hmotného světa se zmenšuje se vzdáleností, jest často možno izolovati v něm systémy autonomní nebo téměř autonomní. Zákony mechaniky a fyziky tvrdily tedy, že dostatečná znalost počátečního stavu takového izolovaného systému dovoľuje pomocí matematické analýsy předvídati přesně celou jeho budoucnost. Že taková předpověď vývoje části hmotného světa dostatečně izolované je skutečně možná, omezíme-li se na zjevy astronomické a makroskopické, to dokazuje nezvratným způsobem úspěch velkých klasických teorií racionální mechaniky, nebeské mechaniky a matematické fyziky minulého století. Bylo tedy v jisté době právem možno si mysleti, že aplikace téhož pojetí světového mechanismu na atomární děje povede ke stejnému úspěchu. A tak, když experiment odkryl existenci elementárních hmotných částic, elektronů a protonů, pokoušeli se fyzikové vysvětliti atomární děje pohyby těchto elementárních částic a atomy pojímati jako nějaké planetární systémy, zmenšené to obrazy astronomických

planetárních systémů. Avšak nutnost zaváděti do atomového planetárního modelu kvantové podmínky ukázala, že ve skutečnosti do atomárních dějů zasahuje faktor, který lze zcela zanedbat při dějích makroskopických: je to účinnostní kvantum, po případě Planckova konstanta  $h$ . N. Bohr, který spojil své jméno s planetárním atomovým modelem, byl první, kdo předvídal, že tento model neodpovídá skutečnosti a že zásah účinnostního kvanta do atomárních dějů přináší omezení představ klasické fyziky. Touto myšlenkou se Bohr zabýval nejvíce při vývoji nových kvantových teorií.

Vedení jeho myšlenkami pokusíme se ukázati, jak rozvojem nové mechaniky utrpěla pohroma jednak představa mechanismu, jednak představa spojitosti.

Abychom dobře porozuměli hlavním příčinám, pro které selhal mechanistický názor, musíme vyšetřiti, jaké postavení při mechanistickém pojetí má k hmotnému světu znázorněnému strojem fysik, který pozoruje a měří, aby pak mohl počítati a předvídati. Existuje totiž hypotéza, která se více méně implicity připouští ve všech klasických teoriích, že je možno pozorovati a dokonce i kvantitativně studovati stav nějakého systému, aniž se tím jakkoli ruší tento stav. Připouští se zkrátka, že vědec může pozorovati systém nebo dokonce i konati na něm měření, aniž nastane pozorovatelná výměna energie mezi ním a systémem. Je však zcela jasné, že — uvažujeme-li přesně — není tomu zcela tak ani při pouhém pozorování, neboť vnější svět můžeme poznávati jen prostřednictvím smyslových vjemů a každý smyslový vjem předpokládá vždy působení vnějšího světa na některý náš smyslový orgán, tedy výměnu energie mezi vnějším světem a naším tělem. Tím spíše v případě experimentu a měření, kdy jde o aktivní zásah fysikův s určitým záměrem, není, přesně vzato, dovoleno zanedbávati vzájemné působení vyšetřovaného systému a zařízení používaného experimentátorem. Avšak tuto zásadní námitku lze v praxi zanedbat po každé, když jde o studium zjevu makroskopického, to jest takového, který lze měřiti lidským nebo astronomickým měřítkem. Jest jisté, že hvězdář, který namíří svůj dalekohled na hvězdu, aby ji pozoroval, změní běh této hvězdy měrou zcela zanedbatelnou, a také při zjevech, které se odehrávají na zemi kolem nás, může zručný experimentátor vždy docíliti toho, že neruší podstatně to, co chce studovati. Ale extrapolace fysikálního mechanismu z oboru makroskopického, kde jej lze jistě aplikovati, do oborů menších a menších rozměrů, kde se měří veličiny čím dál tím menší, předpokládá podstatně, že je možné zmenšovati neomezeně vzájemné působení, které každé měření předpokládá mezi vnějším světem a experimentátorovými přístroji a smysly, aniž nastane okamžik, kdy porucha způsobená měřením se stane srovnatelnou

s měřenými veličinami a kdy se neví, jaká je po měření skutečná hodnota veličiny, kterou bylo změřiti. Zde zasahuje existence účinnostního kvanta, Planckovy konstanty  $h$ , jejíž objev byl jedním z nejpodstatnějších okamžiků vývoje současné vědy. Existence a konečná hodnota této konstanty má za následek, že je nemožné v atomárním systému současně přesně změřiti všechny veličiny, jejichž současná a přesná znalost jest nutná pro úplný mechanický popis systému. Přesněji řečeno: dvě veličiny, které jsou navzájem kanonicky sdruženy ve smyslu analytické mechaniky, jako je na př.  $x$ -ová souřadnice částice a  $x$ -ová složka hybnosti této částice, nelze současně přesně měřiti. Čím více bude experimentátor upravovati měření tak, aby změřil přesněji jednu z těchto veličin, tím více bude samým průběhem měření modifikována neznámým způsobem veličina druhá, aniž je možno tomu zabrániti. Ukázaly to jenné a hluboké rozborů N. Bohra a W. Heisenberga. Existence účinnostního kvanta váže ke každému měření konečnou a nekontrolovatelnou poruchu, která se vztahuje na každou dvojici kanonicky sdružených veličin. Takový je fyzikální obsah Heisenbergových vztahů neurčitosti. Jest třeba dobře si všimnouti, že tato nemožnost změřiti současně přesně všechny veličiny nutné k mechanickému určení systému, platí zcela přesně i pro systém makroskopický, ježto však minimální neurčitost kanonicky sdružených veličin jest téhož řádu jako Planckova konstanta, může zde býti tak malá, že je zanedbatelná vzhledem k měřeným hodnotám, a mechanickou koncepcí lze velmi přibližně aplikovati. Přesněji budeme v dalším označovati jako makroskopický ten zjev, při němž lze vzhledem k vyskytujícím se veličinám považovati Planckovu konstantu za nekonečně malou, jako mikroskopický budeme naproti tomu označovati ten zjev, který se odehrává v tak malém měřítku, že nelze abstrahovati od konečné hodnoty Planckovy konstanty. Tedy v takto definovaném mikroskopickém oboru vzájemné působení pozorovatele a vnějšího světa, připínající se nutně ke každému pozorování a měření, hluboce mění studované velmi jemné zjevy. V tom je důvod Heisenbergových neurčitostí a nemožnosti předpovídati přesně pro mikroskopické zjevy vývoj systému na základě známého počátečního stavu, neboť všechny veličiny, jejichž současná znalost jest nutná k takové přesné předpovědi, nelze současně přesně znáti.

Zde se naskýtá otázka, kterou se několikrát zabýval N. Bohr a W. Heisenberg. Klasická fyzika předpokládá podstatně, že existuje objektivní realita, která může býti popsána zcela nezávisle na subjektech, které ji pozorují. Na základě toho, jak bystře poznával Bohra, mohla si klasická fyzika činiti nárok na titul exaktní vědy. Avšak v současné mikroskopické fyzice nelze již úplně oddělití pozorovaný nebo měřený zjev od metody pozorovací

a měřicí. Mikrokosmos není objektivní realita, která může být chápána nebo popisována člověkem nezávisle na procesech, které mu ji dovolují poznati. Buď se vůbec nepokusíme sledovati vývoj mikrokosmu a tedy tento vývoj nám zůstane neznámý a nestane se předmětem vědy, nebo se jej pokusíme poznati a pak jej modifikujeme nekontrolovatelným způsobem, který ovšem závisí na prvcích, které se snažíme přesně poznati. Bohr z toho soudil, že kvantová fyzika zmiňuje a činí nejistým rozdíl mezi subjektem a objektem. Snad je to jakýmsi zneužitím slov.

Ve skutečnosti pomůcky pozorovací, měřicí přístroje i naše smyslové orgány patří zřejmě k objektivní realitě a skutečnost, že v mikroskopické fyzice nelze už zanedbávati jejich působení na ty části vnějšího světa, které chceme pozorovati, nemůže nijak odstraniti nebo i jen zmenšiti tradiční rozdíl mezi objektem a subjektem. Kdybychom chtěli Bohrovi myšlenku vyjádřiti přesnějšími výrazy, bylo by třeba, myslím, říci ji takto. Kdežto klasická fyzika klade umělou hranici mezi část objektivního světa, označenou jako vnější realita zcela nezávislá na subjektech pozorujících, a druhou část objektivního světa, měřicí přístroje nebo orgány smyslové, které slouží pozorovatelům k poznání a kvantitativnímu studiu této vnější reality, aniž ji modifikují, fyzika kvantová ukazuje umělou povahu takové hranice a dokazuje, že popis fyzikální reality zcela nezávislý na našich pozorovacích pomůckách jest přesně vzato nemožný. Proto se nová mikroskopická fyzika může jen pokusiti uváděti v souvislost (a uvidíme ještě, že to lze jen předpovědi statistické povahy) výsledky jednoho experimentálního zjištění s výsledky jiného pozdějšího experimentálního zjištění, při čemž každé zjištění způsobuje neznámé změny. Tím jest zmenšen stupeň kauzální determinace, jejíž existenci v objektivním světě můžeme vědeckým zkoumáním dokazovati.

V téže souvislosti poznal Bohr, že povaha poruchy, kterou způsobuje v mikroskopické fyzice pozorování na pozorovaném ději, podobá se do jisté míry nesnází, kterou zakouší pozorovatel v psychologii, když chce objektivně studovati psychologické zjevy metodou introspekce. Velkou nesnází, se kterou se při tom psycholog setkává, nesnází, která zbavuje výsledky jeho vyšetřování charakteru exaktně vědeckého, jest nemožnost upřítí svou pozornost na vývoj duševního děje, aniž se tím děj deformuje nebo úplně zastaví. Uvedu příklad z oboru spíše psychofysiologického: když chce pozorovatel introspekci sledovati psychologické fáze, které provázejí přechod ze stavu bdělého do spánku, výsledek je obecně šálivý: nepozoruje docela nic, protože neusne. Pozornost, kterou pozorovatel chtěl soustředit na usínání, zcela potlačila tento zjev.

\* \* \*

Myslím, že to, co jsem Vám právě řekl, stačí, abyste porozuměli, jak mechanistická koncepce fyziky ztroskotala v mikroskopickém světě o nemožnost podati obraz funkce fyzikálního světa, který by byl nezávislý na poruchách způsobených měřením a pozorováním. Teď bych Vám chtěl ukázat, jak byla vývojem kvantové fyziky otřesena i druhá základní představa, na níž byla založena klasická věda, totiž představa o spojitosti přírodních dějů dovolující použití matematické analýsy.

Už jsme řekli, že konečná hodnota konstanty  $h$  měla za následek nemožnost současně přesně znáti hodnoty dvou kanonicky sdružených proměnných veličin. Avšak které dvojice proměnných se stanoviska fyzikálního nazýváme kanonicky sdružené? Zkoumáme-li tyto dvojice proměnných, zpozorujeme vždy, že jedna z nich slouží k určení pozorovaného systému v prostoru a času, kdežto druhá stanoví jeho „dynamický stav“. Heisenbergovy vztahy neurčitosti, tvrdící, že nemůžeme pro konečnou velikost konstanty  $h$  znáti současně přesně dvojice kanonicky sdružených proměnných, nás vlastně poučují, že úplný popis mechanického systému v prostoru a v čase je v naší vědě neslučitelný s přesným určením jeho dynamického stavu.

Tato nemožnost přesně udati polohu v prostoru a v čase a současně dynamický stav se snad může spojit s jednou starostlivou otázkou antického myšlení. Představme si šíp v letu, říkal Zenon Eleatský; v každém okamžiku je nepohyblivý v nějaké poloze. Jak tedy může vykonati jistou dráhu? Jak může vzniknouti pohyb z řady klidových poloh? Očím moderní vědy nasycené před objevem kvant zcela myšlenkou spojitosti se zdála Zenonova argumentace se šípem trochu dětinskou. Úvaha o nekonečně blízkých polohách pohyblivého tělesa dovoluje opravdu definovati rychlost stejným způsobem, jakého se užívá k důkazu, že existuje derivace spojitě funkce: rychlost jest zkrátka derivace polohy podle času. V klasické mechanice tedy souřadnice pohyblivého bodu nebo obecněji mechanického systému v okamžiku  $t$  definují polohu v prostoru a v čase, derivace souřadnic podle času slouží k určení stavu pohybu, t. j. k určení dynamické tendence. Tak se zdá, že úvaha o nekonečně blízkých polohách a o okamžitém rovnoměrném pohybu, který umožňuje přechod z jedné do druhé, dovoluje zcela odmítnouti Zenonovu námitku. Avšak toto odmítnutí spočívá na hypotéze o spojitosti fyzikálního dění a je otřeseno, vnikne-li do fyzikálního světa prvek nespojitosti, jaký je obsažen v existenci účinnostního kvanta. Aníž chceme dělat ze Zenona předchůdce Heisenbergova a aniž zapomínáme na podstatný význam, který má v otázce konečná hodnota Planckovy konstanty, můžeme přece říci, že se zdá, že novými teoriemi objevená nemožnost udati přesně polohu pohyblivého bodu v prostoru a v čase a současně

dynamický stav úplně definovaný souvisí s pojmovou nesnází, poznanou již dávno. Užijeme-li slova Bohrova, přesné umístění v prostoru a čase je jedna „idealisace“; pojem pohybového stavu přesně určeného je druhá „idealisace“ a tyto dvě „komplementární“ idealisace, které jsou v makroskopickém oboru velmi přibližně slučitelné, nejsou přesně slučitelné v oboru mikroskopickém.

Důsledky toho, že byla zavedením účinnostního kvanta opuštěna spojitost, se ukázaly při objevu Bohrovy primitivní atomové teorie. V této teorii atom jest považován za zmenšenou sluneční soustavu a jde o to, přesně určit kvantitativní prvky systému. Avšak zavedení zkvantování atomu, které se ukázalo nutným pro souhlas teorie se skutečností, donutilo N. Bohra připustiti, že uvažovaný systém může býti jen v určitém počtu „stacionárních“ stavů, jejichž hodnoty energie tvoří nespojitou řadu. Přejít z jednoho stavu stacionárního do druhého, který je provázen vyzářením energie, je nutno pokládati za skok vymykající se jakémukoli popisu. Zde se po prvé v moderní vědě objevila myšlenka, že je zásadní neslučitelnost mezi pojmem stacionárního dynamického stavu charakterisovaného přesně určenou hodnotou energie a popisem v prostoru a v čase. Tato neslučitelnost se ukázala ještě hlubší, když vývoj nové mechaniky ukázal, že polohy a rychlosti elektronů, pojímaných jako planety v Bohrově modelu, nemají skutečné existence a že ve skutečnosti nejen přechody mezi stacionárními stavy, nýbrž stacionární stavy samy o sobě se vymykají každému pokusu o popis v prostoru a v čase. Stacionární stav, to jest stabilní a přesně určený energetický stav, jest idealisace, která v atomárním dění není už slučitelná s idealisací, kterou obsahuje myšlenka popisu v rámci prostoru a času.

Současně byl zjištěn jistý druh kaleidoskopického charakteru světa, jehož jemná struktura byla pozorována. Postupná pozorování téhož atomu nám atom ukáží vždy ve stacionárních stavech, aniž můžeme někdy atom zachytiti ve stavu přechodném mezi dvěma stavy stacionárními. Ukazuje se, že atomová fyzika, nemožouc pozorovati leč diskretní hodnoty energie, jest nucena odříci se spojitosti a přestati na vytvoření zákonů nutně statistické povahy, které řídí skoky z jedné hodnoty do druhé. Řekl jsem, že tyto zákony jsou nutně statistické, neboť kausální determinace ve fyzice jest, jak se ukazuje, vázána na představu, že transformace se dějí spojitě v rámci prostoru a času, a zdá se, že nutně mizí s touto představou. Nová fyzika se tedy bude snažiti vypočítati pravděpodobnost, že systém, jehož počáteční stacionární stav jest dán, v pozdějším čase bude v tom nebo v onom stacionárním stavu.

Nová koncepce pramenící z úvah o atomových stacionárních stavech, jejichž energie je zkvantována, byla rozšířena novými metodami mechanickými tak, že se aplikuje nejen na hodnoty



energie, nýbrž na všechny ostatní měřitelné fyzikální veličiny. Přesné měření kterékoli z těchto veličin dává vždy určitou hodnotu, avšak hodnoty nalezené pro tutéž veličinu při konsekventních měřeních jsou vázány navzájem jenom zákony pravděpodobnosti. Abychom dobře porozuměli této otázce, je nyní třeba si všimnouti způsobu, jímž vnikl do moderních fyzikálních teorií dualismus částic a vln. Čím více se experimentátorům dařilo zjemňování výzkumných metod v oboru atomárním a mikroskopickém, tím více se ukazovalo, že výsledky jejich zkoumání lze přirozeně vyjádřiti, přiřkne-li se fyzikální skutečnosti nespojitá struktura, v níž se rozlišují nespojitě strukturní prvky, jedny složené jako molekuly nebo atomy, druhé jednoduché (nebo zatím jednoduché) jako proton, elektron nebo foton. Výsledek přesného měření lze vysloviti vždy tak, že přiřkne jisté hodnoty některým veličinám, které charakterisují tyto nespojitě fyzikální strukturní prvky. Pro hmotu je už dlouho jisté, že výsledky jemných pokusů a měření mají vždy v zápětí úvahy o částicích nebo autonomních systémech částic, jako jsou atomy; avšak analyza vzájemného působení hmoty a záření ukázala nověji také, že je tomu tak i u světla, a měla v zápětí úvahy o částicích světla čili o fotonech.

Tak tedy všechny výsledky experimentální mikroskopické fysiky se vyjadřují konečně formou, která předpokládá existenci částic: to je skutečnost, od které nelze abstrahovati. Avšak u těchto elementárních částic nebo autonomních systémů částic, které experimentální zkoumání dovoluje izolovati ve fyzikální realitě, nemůžeme nikdy dospěti k úplnému popisu způsobem klasickým tak, že je v určitém okamžiku přesně umístíme v prostoru a současně jim přiřkne přesně definovaný dynamický stav. Tento fakt souvisící, jak jsme viděli, s nemožností pozorovati skutečnost, aniž ji rušíme, jest vyjádřen Heisenbergovými nerovnicami o zásadní neurčitosti a jest důsledkem existence účinnostního kvanta. Nepoznáme-li však nikdy všechny elementy, které by nám byly nutné s hlediska světového mechanismu k předpovědi budoucnosti částice nebo atomu, jaký způsob předvídaní nebo jaká věda je ještě možná? Zde zasahují vlny. Vývoj vlnové mechaniky vedl totiž k tomu, že každé částici nebo systému částic byla přiřaděna vlna, jejíž povaha se postupně objevila spíše symbolická. Po každém měření, které nám poskytlo o částici nebo o systému částic zprávy nutné neúplné pro Heisenbergovy zásadní neurčitosti, můžeme přiřaditi této částici nebo systému částic jistou vlnu, která jakýmsi způsobem reprezentuje naše vědomosti i s neurčitostí, jíž jsou zatíženy. Pak je možno přesně sledovati vývoj této vlny během času pomocí rovnic, které pro její šíření udává nová mechanika, a tvar této vlny v určitém pozdějším okamžiku nám dovoluje předvídati, jaké jsou možné výsledky měření kterékoli mechanické

veličiny provedené v tom okamžiku a pravděpodobnosti těchto různých možných výsledků. Vývoj pravděpodobností po prvním měření je tedy poslušen přísného determinismu symbolisovaného šířením vlny, avšak z toho obecně neplyne přísný determinismus korpuskulárních úkazů, jak je odhaluje přímé mikroskopické pozorování. A nadto každé nové měření zavádí nový neznámý element, takže celý výpočet vývoje vlny je nutno znovu počítí po každém měření; nad tím není třeba žasnouti, neboť vlna je obrazem pravděpodobností a každé nové měření, poskytující nám nové zprávy, porušuje zřejmě stav pravděpodobností.

Krátce, experimentu se přirozeně jeví vzhled mikroskopických dějů jako korpuskulární; kdybychom mohli měřiti současně všechny prvky obsažené v klasické představě částic, dospěli bychom bezpochyby k mechanickému a deterministickému popisu mikrokosmu analogickému tomu, o nějž se pokusila primitivní Bohrova teorie. Ale jak teď víme, současná znalost prvků prostorově časových a prvků dynamických je nemožná pro existenci účinnostního kvanta, takže sled pozorovatelných stavů v korpuskulárním obraze se nám jeví jako nespojitý a nekausální. Zavedení vln do úvah dovoluje obnoviti spojitost a determinismus mezi dvěma po sobě následujícími měřeními, avšak jen pokud jde o vývoj pravděpodobností. Nová mechanika opírajíc se o tyto myšlenky mohla ovšem snadno vyložití, jak v oboru makroskopickém, kde konstanta  $h$  jest zřejmě zanedbatelná, nacházíme zdánlivou spojitost a determinismus a jak lze smířiti idealisaci prostorově časovou s idealisací dynamických stavů. Jinak řečeno, bylo možno ukázati, že přecházíme-li z mikrokosmu do makrokosmu, fyzika kvantová se asymptoticky blíží klasické fyzice.

Ještě bych rád připojil poznámku. Studujeme-li vývoj jediné fyzikální částice nebo atomu, přiřazená vlna symbolisuje pravděpodobnosti výskytu a dynamického stavu té partikule; máme-li však velký počet identických částic, vlna zobrazuje statistické rozdělení tohoto souboru partikulí. Uvažujme na příklad experimenty klasické optiky: s našeho nynějšího hlediska se ukazuje, že tyto experimenty, při nichž jde o velký počet fotonů, jež jednotlivě nelze rozlišiti, dovolují toliko studovati statistické rozdělení fotonů, které jest zobrazeno přiřaděnou vlnou, to jest světelnou vlnou klasické optiky. V tom je hluboký důvod, proč se klasická optika mohla obejít bez pojmu částice a uvažovati toliko vlny. Stejně poměry se ovšem jeví i při novém zjevu difrakce elektronů, jejíž výsledek lze popsati jediné pomocí vlny přiřazené elektronu bez použití korpuskulární představy elektronu. Tak chápeme, že vlna přes svůj symbolický charakter může se v jistých případech vztahujících se na velký počet částic jeviti jako existující fyzikální realita.

\* \* \*

Shrňme nyní v celek myšlenky dosud rozvíjené. V mikroskopickém oboru fyzikální realita se jeví jako vytvořená prvky vyskytujícími se postupně ve stavech s náhlými přechody, ve stavech, jichž popis pomocí infinitesimální analýsy nelze provést v rámci spojitosti a determinismu. Avšak statistický průběh těchto kaleidoskopických transformací lze popsat klasickým způsobem, zavedeme-li přidružené vlny. Přecházíme-li do makrokosmu, v němž Planckova konstanta přestává mít pozorovatelný vliv, nespojitý charakter individuálních dějů mizí, utopen — abych tak řekl — ve statistice; komplementární a určitým způsobem neslučitelné popisy pomocí pojmů částic a vln, pomocí umístění v prostoru a čase a určení dynamického stavu se opět spojují a slévají v harmonickou a pevnou formu klasické fyziky.

Snad je zajímavé poznamenati, že konečná hodnota Planckovy konstanty zavádí podstatný rozdíl mezi mikrokosmem a makrokosmem. Myšlenka, že fyzikální svět je sobě podoben ve všech oborech, že nekonečně malé je jakoby homotetická redukce nekonečně velkého, vine se jako vedoucí myšlenka spisy myslitelů i teoriemi vědců. Pascalův genius dovedl vyjádřit tuto ideu dojmavými slovy a není to opět ona, s níž jsme se setkali před dvaceti roky jako s inspirací planetárního modelu atomového? Dnes však ve světle nových teorií se nám jeví tato představa jako zásadně nepřesná. Obrazy, které stačí k popisu makrokosmu, nejsou adekvátní pro popis mikrokosmu. Když se zmenšují rozměry veličin, fyzik přechází do světa atomů a částic a tam naráží na zcela nový a neredukovatelný element, na účinnostní kvantum, jehož zásah má dalekosáhlé důsledky, které jsme se pokusili analyzovati. Konečná hodnota Planckovy konstanty dovolující definovati a k sobě připojovati obor mikroskopický a makroskopický, má za následek, že ve fyzikálním světě nekonečně malé není homotetickou redukcí nekonečně velkého.

\* \* \*

Je třeba jíti dále a věřiti, jak se to zdá napovídati N. Bohr, že nové koncepce současné fyziky dovolí pochopiti, proč klasické metody objektivní vědy zdají se nepadno přizpůsobitelné zjevům biologickým a morálním, a to tak, že mikroskopická fyzika by sloužila za prostředníka mezi makroskopickou fyzikální realitou, kde platí mechanismus a determinismus, a druhým oborem, subtilnějším, kde tytéž představy by byly ne-li chybné, tož aspoň neužitečné? Drže se své úlohy fyzika nepokusím se vůbec o odpověď na tuto otázku. Omezím se na závěr, že objev kvant, jehož důsledky se nám teprve začínají jeviti v celém jejich dosahu, zdá se vyžadovati na vědeckém myšlení jednu z nejdůležitějších změn orientace, jaké kdy prodělalo během svého dlouhého staletého úsilí o složení našeho obrazu fyzikálního světa pokud možno podle požadavků našeho rozumu.