

Základní kvantum kvantové teorie

Václav Dostál

Obsah

Záhady kvantové teorie	1
Absolutně černé těleso	1
Záření absolutně černého tělesa	3
Planckova hypotéza	3
Fotoelektrický jev	4
De Broglieho hypotéza	5
Interferenční jevy při toku částic	5
Heisenbergův přístup	6
Vsuvka: Problematika měření v kvantové mechanice	7
K problému kvantového měření podruhé	8
Zavádějící ψ Erwina Schrödingera	9
Vezme-li se ψ vážně: Mnoho světů	10
Skryté proměnné	11
Heisenbergův princip	12
Vsuvka. Princip věrné reprodukce	13
Mechanomotivní modulace základního vlnění	14
Základní pohyb mechanomotivní reality	14
Kvantová superpozice	14
Schrödingerova kočka	15
Kvantové provázání	15
Náhled do matematiky používaná v kvantové fyzice	16
Odkazy	17

Záhady kvantové teorie

Kvantová fyzika neboli kvantová mechanika nebo také kvantová teorie budí hrůzu nebo také odpor. Viz [1]: popisuje některé fyzikální jevy, které jsou prapodivné, zdají se dokonce jako nesmyslné. Např. elektrony se mohou v atomu vyskytovat kdekoli, i když někde hodně pravděpodobně a jinde nepatrně málo pravděpodobně. Částice může proletět pevnou stěnou nebo dvěma úzkými od sebe vzdálenými štěrbinami najednou. Může být současně na mnoha místech nebo v několika různých stavech. Aspoň to tak vypadá.

Navíc matematický popis takových jevů je silně abstraktní, pomocí zvláštních „hieroglyfů“, jejichž fyzikální smysl nám uniká.

Níže budu postupovat v pořadí podobném panu Reichlovi [2]. – absolutně černé těleso, fotoelektrický jev, de Broglieho princip, vliv měření na kvantové jevy, Heisenbergův princip, superpozice, Schrödingerova kočka, náhled do matematického vyjádření.

Absolutně černé těleso

Začnu tvrzením obdobným počáteční větě z [3], že všechna tělesa září, vydávají elektromagnetické záření, u hvězd vznikajícího při termonukleárních přeměnách čili při slučování jader (částic) atomů. Zářit ovšem mohou i tělesa uměle ohřívána (např. pánvička rozpálená hořícím plynem).

[3]: „Těleso záření nejen vyzařuje, ale může i dopadající záření pohlcovat.“

Pan Reichl ve [4] vysvětluje: „[Absolutně] černé těleso dokonale pohlcuje veškerou energii, která na těleso dopadá. Nedochází k žádnému odrazu záření, takže za nízké teploty se nám jeví toto těleso dokonale černé.“

To neznamená, že takové těleso nic nevyzařuje – ale naopak, podle [5] „je [to] současně ideální zářič, ze všech možných těles o stejné teplotě vysílá největší možné množství zářivé energie.“ Tzn., že absolutně černé těleso idealizuje skutečná zářící tělesa.

Černé těleso může představovat malý vikýř, obecně malá otevřená ploška v uzavřené dutině. [4]: „Pronikne-li otvorem dovnitř elektromagnetické záření, při opakovaných odrazech od stěn dutiny se veškerá energie záření pohltí. Otvor dutiny se tedy pak jeví jako černé těleso“ (viz obr. 1.). Také „... tělesa, která mají výrazně větší objem, než je povrch, kterým záření vyzařují do okolí... lze za absolutně černá tělesa považovat (např. Slunce).“ [Mírně pozměněný citát].

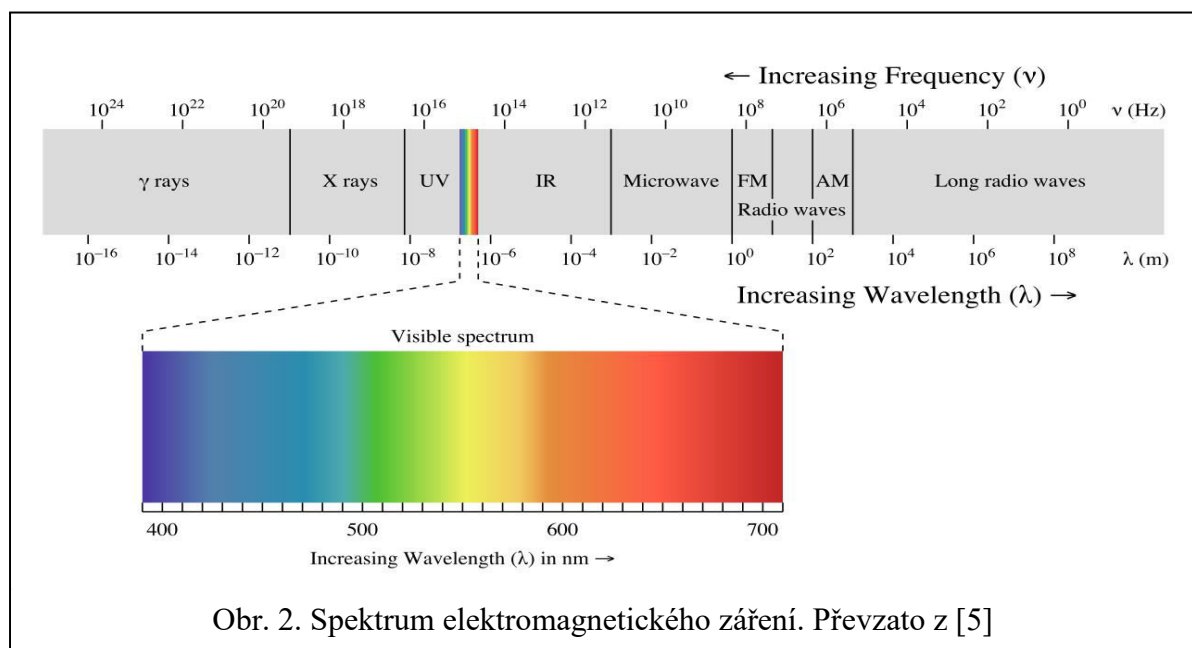


Obr. 1. Převzatý od Reichla. Malý otvor v uzavřené dutině

Velmi podobné záření jako těleso vysílá také kosmické „pozadí“, tj. kosmický prostor. Tvrdí se, že takové záření je mikrovlnné záření kosmického pozadí (CMB), ale o jiných druzích záření kosmického „pozadí“ se to neuvádí. Je zřejmé, že záření absolutně černého tělesa vzniká také v CIB – v infračerveném záření kosmického pozadí. Infračervené a mikrovlnné záření spolu sousedí – hranici mezi nimi jsme si stanovili sami. Jeho „obraz“ (převedení na viditelné záření) je velmi podobný zobrazení mikrovlnného záření (CMB).

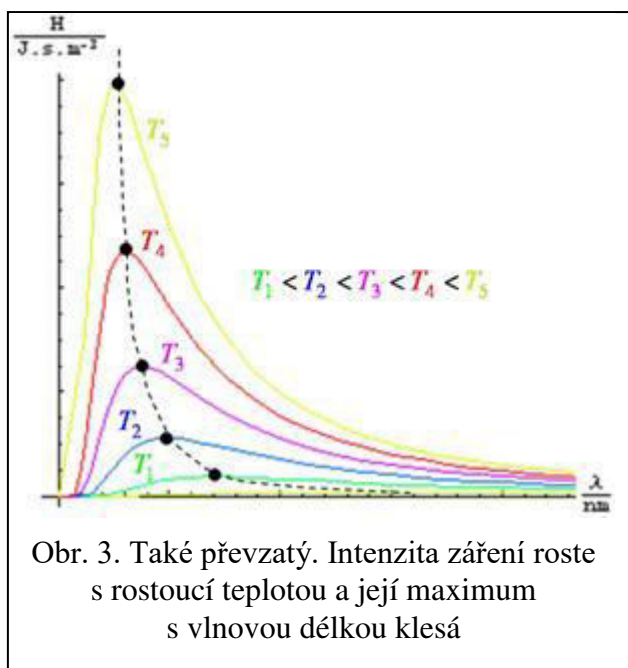
Jestliže předpokládáme, že kosmický prostor (bez těles a tělísek) kmitá, pak také vysílá (elektromagnetické) záření. Toto kmitání bude na různých kmitočtech, bude vznikat i další záření kosmického „pozadí“ – rentgenové, gama, rádiové. Viditelné záření zabírá velmi úzkou oblast elektromagnetického záření. Kosmický prostor na kmitočtech viditelného záření pravděpodobně nekmitá nebo jeho intenzita je vzhledem intenzitě viditelného světla z hvězd tak malá, že nám uniká.

[6]: „...těleso při konstantní teplotě [které] je v termodynamické rovnováze se svým okolím, ... získává pohlcováním energie od okolí stejné množství energie, jako do okolí vysílá.“



Obr. 2. Spektrum elektromagnetického záření. Převzato z [5]

Jeví se, že takové těleso neexistuje. Skutečná tělesa nevysílají přesně tolik energie, co přijímají. Jen ztěží bychom předpokládali, že tělesa přijímají jen některé druhy elektromagnetického záření nebo jen záření, jež na ně dopadá z hvězd a jiných kosmických objektů. Náš základní předpoklad existence základní energie, kterou je veškerý vesmír vytvářen, dotahuje výše uvedené tvrzení o přijímání energie tělesy. Základní energie („vakuum“) může být modulována či modifikována na tělesa či částice (také na známé druhy elektromagnetického záření a na průvodní pole – které odpovídá „gravitačnímu“ poli). Částice těles jsou jednak chvěním (stojatým vlněním) modulovaného základního vlnění a jednak přímo oním základním vlněním (základní energií“.



Přeměna energie je dokonalá, zahrnuje i přeměnu základní energie na měřitelné formy a opačně. Jinak řečeno, zákon zachování energie platí i pro základní energii (implicitní, „skrytou“, kterou neumíme měřit).

Záření absolutně černého tělesa

Absolutně černé těleso září na různých frekvencích (či na různých vlnových délkách) různě intenzivně. **Spektrální hustota intenzity vyzařování** (stručně, ale méně přesně: **intenzita záření**) H není konstantní, mění se v závislosti na vlnové délce záření (na „barvě světla“) a na teplotě tělesa. Celková vyzářená energie při vyšší teplotě je větší a její maximální intenzita přitom klesá s vyšší frekvencí (s klesající vlnovou délkou). Viz obr. 3. (také převzatý od Reichla). Těles s nižší teplotou tedy pouze „žhnou“ – jeví se nám červená, kdežto tělesa s vysokou teplotou „svítí“ jasně – vidíme je jako modrobílá. To se zde omezujeme jen na oblast viditelného světla. Infračervené a gama zářiče můžeme zaregistrovat pouze pomocí přístrojů.

Posun vlnové délky maximální intenzity záření je podle Wienova posunovacího zákona [6, 7], což je nepřímá úměrnost, znázorněná hyperbolou je na obr. 3. vyznačena čárkovaně.

Wienův zákon:
$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

kde λ_{\max} je vlnová délka maxima spektrální hustoty vyzařování, T je teplota tělesa a b je tzv. Wienova konstanta, $b = 2,897\ 768\ 5(51) \cdot 10^{-3}$ m K.

Planckova hypotéza

Jak vidíme, na grafu obr. 3., průběh závislosti spektrální hustoty intenzity vyzařování je složitý. Nejprve prudce roste do maxima, pak klesá o něco povlovněji a nakonec klesá velmi povlovně. Matematicky je vyjádřen Plackovým vztahem [3]:

$$„H = \frac{2\pi hc}{\lambda^5 (\exp(hc/kT) - 1)},$$

kde $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s je Planckova konstanta $c \approx 3 \cdot 10^8$ m.s⁻¹ rychlost světla, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J.K⁻¹ Boltzmannova konstanta, T absolutní teplota a λ vlnová délka záření.“ Výraz $\exp(hc/kT)$ se také zapisuje $e^{hc/kT}$.

„Max Planck ... při odvození opustil tehdy platný předpoklad, že energie je libovolně dělitelná, a použil svou kvantovou hypotézu:

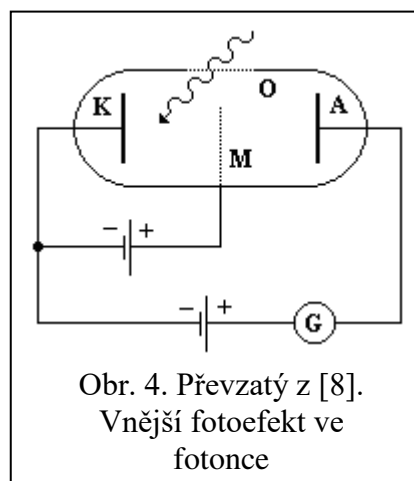
Emise a absorpce zářivé energie se může dít jen po celistvých násobcích kvanta $E = hf$,

Zde písmeno f označuje frekvenci, ale ta se také označuje písmenem ν , takže **$E = h\nu$** .

Jinak řečeno, elektromagnetická energie se vyskytuje jen v „balíčcích“, v kvantech, nemůže nabývat libovolných hodnot, ale jen některých „vybraných“ – je zrnitá, kvantovaná. Kvant elektromagnetické energie kvanta dostala název „fotony“.

Planck svou hypotézu existence kvant energie nejprve považoval jenom za matematický trik, ale Einstein ji dokázal a vysvětlil fotoelektrický jev. Za to získal Nobelovu cenu za Fyziku, kdežto za teorii relativity tato cena nebyla udělena.

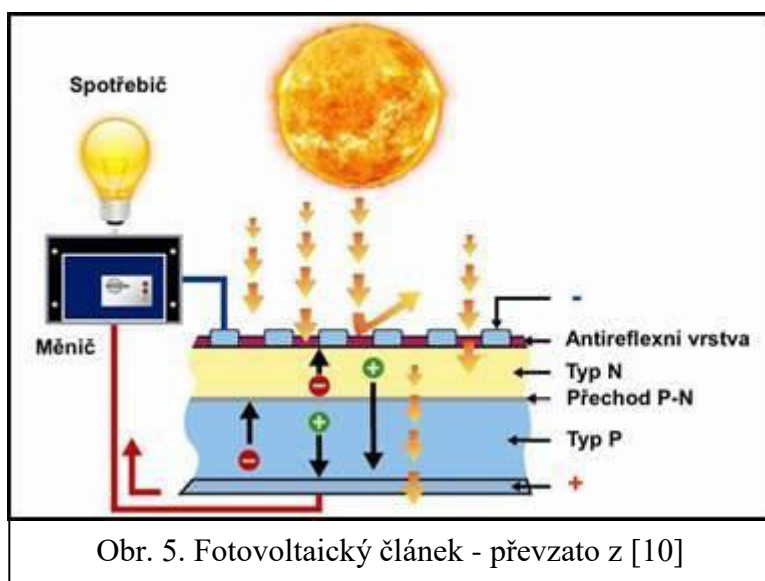
Planckovo tvrzení o kvantech „světla“ bylo mnohokrát potvrzeno, přesto se stále nazývá „hypotéza“.



Obr. 4. Převzatý z [8].
Vnější fotoefekt ve fotonce

Fotoelektrický jev

Jestliže ozáříme kovovou destičku, umístěnou ve vakuu skleněné baňky (fotonky), mohou se z destičky uvolňovat elektrony. Vzniká **vnější fotoelektrický jev (fotoefekt)**. V současnosti se však čím dál hojněji používá **vnitřní fotoelektrický jev** ve fotovoltaických článcích – pospojovaných do slunečních (solárních) či fotovoltaických panelů. Soustava fotovoltaických panelů pak (spolu s měřicími a regulačními přístroji) vytváří fotovoltaickou elektrárnu.



Obr. 5. Fotovoltaický článek - převzato z [10]

[8]: „... **vnější fotoefekt**. ... je možné zkoumat pomocí speciální fotonky (viz obr. 4). Záření dopadá okénkem O (které je propustné i pro UV část spektra) na fotokatodu K a uvolňuje z ní elektrony. Ty putují k anodě A a vzniklý proud v obvodu lze měřit galvanometrem G. Na mřížku M je možné přivést záporné napětí, které brzdí vylétávající elektrony a propouští jen elektrony o určité energii, kterou lze tímto způsobem měřit.“

Vnitřní fotoefekt může nastat u polovodičové diody (fotodiody) neboli u přechodu PN. [9]: „Osvětlením ... se v polovodiči z krystalové mřížky začnou uvolňovat záporné elektrony. Na přechodu P-N se vytvoří elektrické napětí.“ Vizte obr. 5.

[8]: „Na základě představ klasické fyziky se zdálo, že s rostoucí intenzitou dopadajícího záření ... se budou elektrony uvolňovat snadněji z povrchu kovu a budou mít i vyšší energii. Experimenty ale prokázaly, že **na intenzitě záření závisí jen množství uvolněných elektronů, ale nikoliv energie** [popř. rychlost] jednotlivých elektronů.“

Tak byl prokázán Planckův předpoklad, že energie fotonu $E = h\nu = \hbar\omega$ – kde $\hbar = h/2\pi$ je redukovaná Planckova konstanta a $\omega = 2\pi\nu$ je úhlová frekvence (dříve zvaná kruhová frekvence). Poněvadž $\nu = c/\lambda$, kde c je rychlost světla a λ je vlnová délka fotonu $E = hc/\lambda$.

Fotoelektrický jev začne probíhat až při dostatečně velké energii fotonu, tedy i dostatečně vysoké frekvenci elektromagnetického záření. Elektrony z kovové destičky nebo z polovodičového přechodu PN nevystoupí při menší frekvenci nebo při větší vlnové délce než při jisté hraniční minimální frekvenci ν_0 (barvě světla), která je závislá na druhu materiálu katody nebo druhu polovodiče. Energie fotonů tedy musí být $E \geq h\nu_0$. Někdy se $E_0 = h\nu_0$ označuje jako **výstupní práce** W_0 , nutná k uvolnění elektronu z destičky katody nebo z přechodu PN, takže energie fotonu je potom $E = h\nu + W_0$.

„Vždy ale platí, že jeden foton (jedno kvantum záření) je schopen vyrazit jeden elektron.“ Ještě musíme doplnit, že existuje obrácený jev, inverzní fotoelektrický jev, kdy dopadající elektrony mohou uvolnit fotony.

De Broglieho hypotéza

Světlo bylo, až do vzniku kvantové teorie, považováno za elektromagnetické vlnění. Jestliže světlo však můžeme také považovat za tok fotonů, částic světla, lze podle de Broglieho (čti: de brojeho) naopak fotonům přisoudit vlastnost původně zavedenou pro tělesa – hybnost:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

[11]: *Louis de Broglie (1892 - 1987, Nobelova cena v roce 1929) s velmi odvážnou myšlenkou, která se později ukázala být geniální: Jestliže se kvantum elektromagnetického záření chová jako částice, proč by se ostatní objekty mikrosvěta, které byly dosud považovány za částice v klasickém slova smyslu (elektron, neutron, proton, atomy, molekuly, ale i tělesa z nich vytvořená), nemohly chovat zároveň jako vlna? “*

„Potom je možné psát: $\nu = \frac{E}{h} = \frac{mc^2}{h}$; $\lambda = \frac{h}{p}$ “, přičemž hybnost p můžeme definovat

jako součin (klidové) hmotnosti a rychlosti pouze pro elektrony letící po „vyražení“ malými rychlostmi. „V případě, že se částice pohybuje rychlostí o velikosti blízké velikosti rychlosti světla ve vakuu, označuje m relativistickou hmotnost částice [$m = m_0 / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$]“.

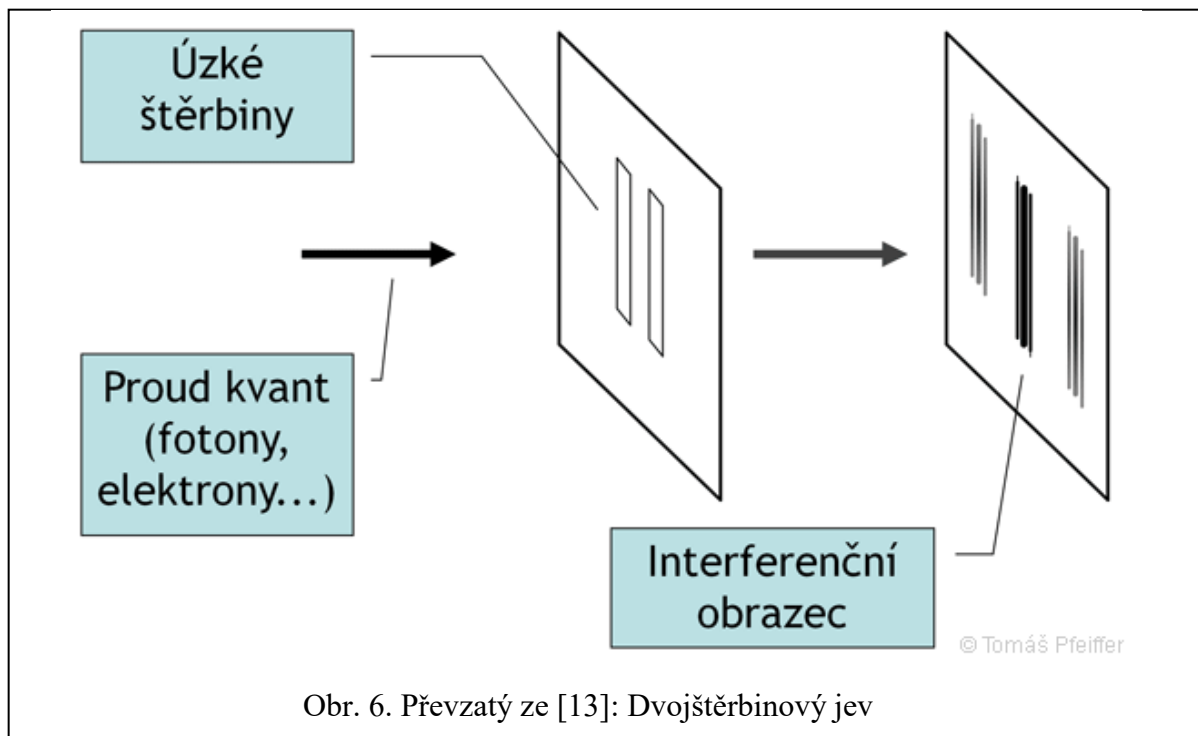
Hypotézu potvrdila difrakce (ohyb) toku elektronů a jejich interferenční jev. Avšak není zcela jasné, o jakou vlnu jde (viz níže).

Interferenční jevy při toku částic

Viz [12]: W. H. Bragg a jeho syn W. L. Bragg experimentálně pozorovali interferenční maxima a minima ozáření dopadajícími rentgenovými paprsky, odraženými od krystalů. „Braggův zákon tak popisuje **difrakci** elektromagnetického záření v krystalech.“

K difrakci na krystalech dochází i při dopadech urychlených elektronů, protonů nebo neutronů. „*Tímto způsobem byla též dokázána platnost de Broglieho vlnové hypotézy.*“

[13]: Jestliže vysíláme tok fotonů (EM záření) nebo tok elektronů (či jiných částic látek) proti stínítku se dvěma blízkými štěrbinami, objeví na dalším stínítku za tím prvním interferenční pruhy: maxima a minima. Při průchodu částic dochází tedy ke stejnému jevu jako při průchodu záření. Vypadá to tak, jako kdyby i každá částice prošla oběma štěrbinami současně. Vizte obr. 6.



Obr. 6. Převzatý ze [13]: Dvojštěrbinový jev

Navíc: Když těsně za jednu štěrbinu vložíme detektor částic, interferenční obrazec zmizí. K podobnému „smazání“ vlnového projevu (charakteru) částic dochází při jakémkoli pokusu kvantového jevu. Jinak řečeno, fyzikální přístroj kvantové jevy ovlivňuje.

Objekty mikrosvěta mají jak vlnové, tak částicové vlastnosti – pro výklad jevů použijeme vlnově částicový dualismus.

Heisenbergův přístup

Bohrův model atomu i matematicky pokládá atom jako složený z jádra a obalu. Kolem jádra, tvořeného protony a neutrony obíhají elektrony. Poněvadž veškerá hmotnost atomu je soustředěna v jádře a jen malé procento v elektronech, vychází, že prostor mezi jádrem a obalem je prázdný, neobsahující vůbec nic.

[14]: „[Bohrovy] vzorce skrývaly něco zcela absurdního. Bez hlubšího zdůvodnění totiž předpokládaly, že elektrony v atomech obíhají jenom po zcela **přesných orbitálních drahách**, v určitých naprosto **přesných** vzdálenostech od jádra, s **přesnými** hodnotami energie – než se rozhodnou magicky „přeskočit“ z jedné orbity na druhou. Ale proč ony **nemístné** „přeskoky“ z jedné dráhy na druhou? Jaké síly by mohly způsobovat takové bizarní chování?“ [Zdůraznění udělal Rovelli].

Nějaké „přeskoky“ elektronů jakožto „kuliček“ (částic čili částíček) – zjednodušených na hmotné body – z jedné oběžné (orbitální) dráhy na jinou jsou opravdu **nemístné**, bizarní a dokonce absurdní. Pro matematický popis to bylo (a dosud aspoň někdy je) nutné, ale nedává to fyzikální smysl. Proto se Rovelli ptá: „*Jaké síly by to mohly způsobovat?*“ Výsledkem je

zavržení tohoto modelu jako reálného, objasňujícího příčiny. Jenže z hlediska přesného vyjádření, tedy z matematického hlediska je taková představa v naprostém pořádku.

Z toho vyplývá, že elektron žádná „kulička“ ve skutečnosti není. Hmota není rozdrobena na hmotné body, izolované od sebe velkými prázdnotami. Hmota je tudíž oscilující energie, nahromaděná do určitého prostoru, ale ne zcela přesně omezeného nebo ohraničeného. Jestliže chceme elektron zviditelnit, zachytíme jenom určitou stopu na nějakém „monitoru“ (stínítku) po dopadu na něj. To bude ve zcela přesném okamžiku jedna z možných „výchylek“ oněch oscilací. Nahuštěná energie „vykmitne“ na určitou hodnotu a při tom záznamu interaguje (nebo: interferuje) s některým (zcela přesným) místem (bodem) stínítka. Pozorovatel, ovlivněný svítícím bodem na „monitoru“ může tvrdit, že sám elektron je takovým bodem či „kuličkou“ – ale tomu tak vůbec není! To ovšem znamená, že neexistující „kulička“ nemůže obíhat po nějaké dráze – jako by šlo o planetu, pohybující se po orbitu (nebo po orbitální dráze) kolem nějaké „mateřské“ hvězdy.

Energie, i jakkoli „nahuštěná“, je kvantovaná, má jenom některé hodnoty. Nemůže nabývat libovolných hodnot, protože ty neexistují. Při svém zvětšování (při dodávání jiné energie zvnějšku) nebo při svém zmenšování změni svou hodnotu na nejbližší možnou. To se nám může jevit jako „skok“ nebo „přeskok“. Nic takového ovšem nenastává. Žádné „plynulé“ změny energie nejsou možné – energie je kvantovaná. To také znamená, že musí existovat určité minimální „množství“ energie a že tudíž nemůže existovat nulová hodnota energie, dokonalá prázdnota. Nemusí se nám to líbit a nemusíme tomu dokonale rozumět, ale právě tak tomu je! Kvantované hodnoty jsou přitom tak sobě blízké, že při zběžném nebo běžném pohledu (zvaném „makroskopický“) nemá pro nás „skoková“ změna smysl a můžeme si myslet, že se změna děje plynule. U velkých koncentrací energie, jako jsou naše těla nebo dokonce mnohem větších, jako je naše Země, přitom uděláme tak maličkatou chybu, že nejsme vůbec schopni ji nějak odhalit (detekovat). Když ale studujeme „objekty“ o „velikosti“ elektronu nebo jiné částice, tak už je ta chyba nejen srovnatelná s jeho (s její) energií a dokonce mnohokrát větší. Tím pádem nahradíme chyby jakousi prázdnotou a tedy naprostým nesmyslem. Žádné „mezery“ nebo „prázdnoty“ mezi „částicemi“ nebo mezi „tělesy“ neexistují! Jenže při výpočtech, při matematickém vyjádření, postupujeme právě **jako by** existovaly. Děláme to proto, že to jinak neumíme! Při nejjednodušším matematickém vyjádření určíme přesnou vzdálenost nesmírně maličkého bodu od jiného rovněž malinkatého bodu a nedovolíme si uvažovat o nějakých oscilacích naměřené hodnoty polohy a to dokonce neurčitě mnohokrát větších než přesná vzdálenost. Nikomu není jasné, jak by se to mohlo dělat jinak.

Problematika měření v kvantové mechanice (vizte [15], ale také [14] jako druhá Vsuvka)

V kvantové mechanice narážíme na problém měření polohy nebo energie částic, které nelze určit přesně. Řešením je přesun na pravděpodobnost výskytu částice. Ta je ovšem také nepřesná. Jak měřit cosi rozmazaného, vlnové „klubko“, pomocí běžného čili klasického přístroje? I takzvaný „klasický“ měřicí přístroj se vlastně skládá z atomů a elektronů a ty podléhají kvantové mechanice. Proto významný fyzik Bell, samozřejmě jen v soukromých rozhovorech, radikálně tvrdil, že kvantová teorie je ve své podstatě „prohnilá“.

Prohnilá není kvantová teorie, ale přimíchání „hmotných bodů“ do ní! To jsou naprosto nesourodé pojmy. V kvantové fyzice není možné jen tak operovat „klasickým měřicím přístrojem“, neboť i ten se skládá z atomů, jež jsou, stejně jako měřený objekt, podle klasické teorie naprosto převážně tvořeny vakuem, základním polem. Považujeme-li elektrony či protony a neutrony za klasické částice, ... pak nám pochopitelně vycházejí „nesmysly“: není možné „změřit“ kvantové stavy částic – vlnových klubek pomocí klasických těles,

předpokládat, že měřicí přístroj se skládá z kompaktní „hmoty“ „bez mezer“ a nikoli z částic – a tudíž z vakua. Nezbyvá nic jiného, než v tomto oboru opustit nesmyslný předpoklad hmotných bodů. Pojem „hmotný bod“ vznikl zjednodušením **makroskopického tělesa** zanedbáním jeho rozměrů a tvaru. Takovéto zjednodušení pro kvantové částice je oprávněné pouze pro výpočty, pro matematický popis. V žádném případě je nelze použít pro vysvětlování **podstaty** kvantových jevů. Při vysvětlování matematického popisu čili rovnic je nutno výslovně říci, že jde o vysvětlení matematické fikce srozumitelnější formou, že místo matematických symbolů užíváme vysvětlujících slov, že však **stále** jde o abstrakci, o rovnici, a nikoli o reálnou fyzikální podstatu!

U makroskopických objektů nehraje pozorovatel ani měřicí přístroj žádnou roli. Alespoň se jejich vliv **snažíme** vyloučit. Avšak to se nám nemůže dokonale podařit. Jestliže při makroskopických měřeních narážíme na jejich aspoň částečnou nespolehlivost, čím více tak tomu bude u kvantových či mikroskopických systémů! Vlnově částicový charakter (i podstatu!) měřicího zařízení a také pozorovatele při zkoumání vlnově částicových soustav nebo dokonce samostatných objektů, např. jediného, „izolovaného“, elektronu, bude hrát podstatnou roli. Zde prostě vliv přístroje a také pozorovatele zanedbat **nelze!** Přístroj (a pozorovatel) **nemůže být mimo** systém – to by neměřil to, co měřit chceme, ale úplně něco jiného, co nás vůbec nezajímá! Přístroj (a pozorovatel) „uvnitř“ systému však systém **podstatně** změní! Vliv přístroje a také pozorovatele je bohužel tak složitý, že vlastně **nevíme**, jak měření změní! Dochází k tzv. kolapsu vlnové funkce popisující kvantový systém.

K problému kvantového měření podruhé (vizte [15], ale také [14])

Existují čtyři výklady, čtyři možná řešení paradoxu kolapsu vlnové funkce při měření. První, počínající od Heiseberga, spočívá v tom, že vlnová funkce jen matematicky popisuje stav částice a **nemá** co do činění s praktickým měřením. Druhý přístup, Everettův, říká, že se uskuteční všechny výsledky, které předvídá vlnová funkce, avšak v různých, **paralelních** vesmírech. Podle Everetta k žádnému kolapsu nedochází. Třetí, Bohmův přístup říká, že vlnová funkce částice je **oddělená** součást reality, která existuje **mimo** samotné částice. Nejde o částici **nebo** vlnu, podle Bohma je to částice **a současně** vlna. Bohm předpokládal, že vlnová funkce interaguje se samotnou částicí tak, že **určuje** její pohyb, „popohání“ ji sem a tam. Podle G. Ghirardiho, A. Riminiho a T. Webera, což je čtvrtý výklad, každá vlnová funkce **samovolně zkolabuje**. Ke kolapsu vlnové funkce dochází u každé částice náhodně v průměru asi každých několik **miliard** let. Při popisu částic nastanou jen nepatrné změny. Jenže u experimentátorů a jejich přístrojů, skládajících se ze závratného počtu částic, ve zlomku sekundy jejich předpokládaný spontánní kolaps změní polohu a rychlost měřené částice a tím způsobí kolaps její vlnové funkce.

Bohmova **ústřední** součást teorie obsahuje nelokální interakce, jež nastávají mezi částicemi a vlnovými funkcemi. Tyto interakce jsou (zatím) skryté. Jestliže je něco skryto, ještě **neznamená**, že je to méně přítomno. Jakmile se podaří objevit způsob registrace interakcí, nelokálnost by nemusela být vůbec skryta. Ve standardní kvantové mechanice se naproti tomu nelokálnost prezentuje pouze nelokálními korelacemi mezi **velmi vzdálenými** měřeními.

Nám nejbližší je právě Bohmovo pojetí. Jestliže (podle naší teorie) základní pole (jež je skryté čili implicitní a nazývá se „vakuum“) reprodukuje své modulace, tedy i částice, pak se dá říct, že na ně působí, že s nimi interaguje, že **určuje** jejich pohyb. Určuje vnitřní oscilace i vnější „let“ sledované částice. Přístroje i sami experimentátoři jako soustavy o nescíslných počtech částic, pochopitelně nějak „odstiňují“ působení základního pole a tím ovlivňují výsledky měření, narušují **koherenci** jejich vlnových funkcí.

[16]: „**Koherence** (z lat. *co-haereo, držím pohroma-dě*) znamená soudržnost, ať už fyzickou nebo logickou. Odtud také koherentní – soudržný, dobře uspořádaný...“

Náš pohled tedy slučuje Bohmův přístup s Ghirardiho – Riminiho – Weberovým. Problém identifikace bude technický. Jde o zkonstruování detektoru, který by zachycoval stopy po částicích mnohem přesněji než stávající detektory. Avšak **základní změna** v chápání reality nebo důsledné dokončení kvantového pohledu na svět bude obtížná, pokud stále budeme setrvávat na „nepřekročitelném“ rozdílu mezi látkovou a polní formou reality. Bez této změny je však pokrok nemožný.

Rozdíl mezi částicí a „vlnou“ začíná hluboko v historii. Makroskopická tělesa se dařilo dělit na molekuly, na atomy a na částice. Vznikla představa, že látka je dělitelná na stále menší kousičky. Avšak u fundamentálnějších částic, u kvarků, tato představa zcela selhává. Dále tělesa a tělíška jsme si zvykli zaměňovat hmotnými body. Jenže u částic (elektronů, fotonů, atd.) tato záměna není vůbec jednoznačná. Museli jsme přijmout pravděpodobnostní interpretaci vlnové funkce. Způsobili jsme si tím problém kvantového měření. Svým tradičním soustředěním na tělesa (či částice) jako příčiny, jako určující prvky reality, jsme stále nepřímo považovali prostor mezi nimi za prázdný.

[Konec Vsuvky]

[14]: **Zavádějící ψ Erwina Schrödingera: Pravděpodobnost**

„Heisenberg, Born, Jordan a Dirac vybudovali složitou a **obskurní** [podezřelou, pochybnou] teorii jenom proto, že se vydali delší a klikatější cestou. Věci jsou ve skutečnosti mnohem jednodušší: **elektron je vlna**. Toť vše. „Pozorování“ s tím nemá co dělat.

K pojmenování této vlny [Schrödinger] použil řecké písmeno psi: ψ . Veličina ψ se též nazývá „vlnová funkce“ [jaksi „doprovázející“ částici]. Jeho krásný **výpočet** jasně ukázal, že mikrosvět se **neskládá z částic, ale z vln ψ** . Kolem atomových jader nekrouží kousky hmoty, ale spojité vibrace těchto Schrödingerových vln. Podobně jako když vlny rozčeří hladinu jezera, zafouká-li vítr.

Schrödingerovy vlny byly ... především snadno představitelné a daly se zobrazit. Ukázaly, jak je to „s trajektorií elektronu, kterou chtěl Heisenberg odstranit: elektron je šířící se vlna. Proto nemá elektron žádnou trajektorii. Jak prosté.“

To by odpovídalo skutečnosti. Jenže uvedené vlny jsou „vlnami **pravděpodobnosti**“: pravděpodobnosti nalezení polohy elektronu (jakožto hmotného bodu – zjednošujícího „kuličku“). Tato pravděpodobnost se mění ve vlnách – a ne nějak přímkově nebo podle nějaké plynulé křivky, jakou je např. parabola. Nastává určitý rozpor: částice jakožto kousičky „hmoty“, jakožto maličké „kuličky“ sice neexistují, ale ve výpočtech (mlčky, implicitně; jako s hmotnými body) se s nimi počítá!

Navíc je zde další potíž: Onu pravděpodobnost vyjadřuje **druhá mocnina** (absolutní hodnoty) vlnové funkce ψ . První mocnina (a jiné mocniny než druhá) nemají **žádný** fyzikální význam! Nevyjadřují nic. To je přinejmenším podezřelé.

„Heisenberg okamžitě rozpoznal, že koncepční jednoduchost Schrödingerových vln je jen *fata morgana*. Každá vlna se dříve či později rozplyne a rozředí v prostoru. Tak se elektron nechová: když někam doputuje, dospěje tam jako celek a zůstane na jediném místě [ve smyslu: nerozplyne se, nikoli, že by setrval v absolutním klidu.]“

Postupná vlna šířící se všemi směry se rozplyne, ale **nikoli** soustavně se obnovující „klubko“ (atom) – rotující „prsteneček“ stojatých elektromagnetických vln, který se pohybuje jako celek, u určitého (daného) „klubka“ jen jedním směrem.

„Když někde elektron detekujeme, třeba na stínítku televizní obrazovky, najdeme ho lokalizovaný na jediném místě, v jednom bodě. Není rozprostraněný.“

O tom jsem psal výše: **Záznam** „dopadu“ elektronu, tj. proměny koncentrované EM energie (chvění) na „hmotu“, na světelný bod **není totéž** co předtím letící „klubko“ energie.

„Teorie, jež zůstala věrna klíčové myšlence Wernera Heisenberga z Helgolandu, nám neříká, kde se nachází konkrétní hmotná částice, když se na ni nedíváme. Říká nám pouze pravděpodobnost, s jakou ji v jednom zvoleném bodě najdeme, **když ji pozorujeme.**“ [Zvýraznil Rovelli].

Realita (entita) vibrující uzavřené koncentrace energie (a tudíž jen nepřesně ohraničeně) byla (a stále je) nahrazena maličkým kouskem „hmoty“ a zjednodušena na hmotný bod – kvůli přesnému, tj. matematickému vyjádření, se kterým umíme pracovat. Tato výhoda byla (a je) vykoupena nesrozumitelností teorie, zastřením fyzikálních příčin a převedením reality na abstrakci, kterou podobně jako abstraktní obraz lze interpretovat různě, i se zcela opačnými významy u jednotlivých výkladů.

„Co je částici do toho, jestli se na ni díváme, nebo ne? Nejefektivnější a nejmocnější ze všech vědeckých teorií je totální záhadou.“

Záhada přestane být totální a aspoň trochu se objasní přijetím mého přístupu, snad nejlépe charakterizovaného v první Vsuvce, uvedené výše a v druhé Vsuvce, uvedené níže. Lze dodat, že naše „podívání se“ znamená ovlivnění zkoumané energie naší energií (obsaženou v onom našem „pohledu“). Dojde tedy ke změně stavu a to k podstatné změně, protože ta naše energie má mnohem vyšší hodnotu (velikost) než samotný zkoumaný stav či jev. Když onu ovlivňující energii snížíme na podstatně menší úroveň (aby došlo k zanedbatelnému vlivu), tak nic neuvidíme!

Vezme-li se ψ vážně: Mnoho světů, skryté proměnné a fyzikální kolaps Mnoho světů

„*"Mnohosvětová" interpretace kvantové teorie je dnes v jistých filozofických kruzích i mezi teoretickými fyziky velmi módní. ...*

Držte se pevně: podle mnohosvětové interpretace ... já Carlo Rovelli jsem popsán svou vlnou ψ . Když pozoruji kočku, moje vlna ψ interaguje s vlnou kočky. A moje skutečná vlna ψ se přitom rozdělí na dvě části: jedna reprezentuje verzi mne samého, který spatří probuzenou [živou] kočku, zatímco druhá reprezentuje verzi mne samého, který spatří spící [mrtvou] kočku [Vizte níže: Schrödingerova kočka]. Obě jsou z tohoto úhlu pohledu naprosto reálné.“

Tohle je jaksi zamlžený výklad. Snad poskytnu srozumitelnější vysvětlení (ovšem v rámci tzv. standartního přístupu): Existuje-li v kvantové teorii možnost více stavů „současně“ a u výsledku pozorování jen jeden, pak ty ostatní se uskuteční v nějakém jiném vesmíru (světě).

„Přijde Vám to bláznivé? Správně, protože to bláznivé **opravdu** je.

A **přesto** existují prominentní fyzikové a prominentní filozofové, kteří trvají na tom, že toto je **nejlepší** možné chápání kvantové teorie. Nejsou to blázni. Bláznivost tkví v samé podstatě této neuvěřitelné teorie, která už sto let perfektně funguje.“

Jenže onu bláznivost dodali fyzici – kteří se zahleděli do skvělých **výsledků** v praxi, že teorie už sto let perfektně **funguje**. Tito lidé pominuli nebo dokonce glorifikovali obtížnost pochopení teorie, zejména pochopení laiky. Libovali si (a dosud tak činí) v „nádherných“ matematických vyjádřeních, které jsou pro laiky jakýmisi hieroglyfy. Tyto hieroglyfy jsou vhodné a dobré jenom pro několik fanoušků či dokonce fanatiků, ale ne pro znalosti a chápání

děsivě velké většiny lidí! Takže si nakonec řeknou: „Dejte nám s tím pokoj, "babrejte se" v tom, jak chcete, když se vám to líbí, ale na nás s tím nechod'te!“

Ani jedno, ani druhé se mi nelíbí. Proto se pokouším aspoň o nějakou nápravu. Dělán něco podobného jako celá řada fyziků při popularizaci vědy. Něco pro zvýšení kulturní úrovně. Aspoň pro ty, kteří **chtějí** přemýšlet, protože jsou přesvědčeni, že mají v hlavě mozek a ne seno.

*„Ale opravdu musíme uvěřit v **reálnou** existenci nekonečně mnoha kopií sebe sama – kopií, které neznáme a nikdy nepotkáme, protože jsou pro nás skryty v gigantické, doslova všehomírné vlně ψ –, abychom se vymanili z tajuplné mlhy obestírající kvantovou teorii?“*

*Osobně mám s touto interpretací ještě další problém. Ona gigantická všehomírná vlna ψ , obsahující všechny světy, je jako Hegelova temná noc, ve které jsou všechny krásy černé: sama o sobě nic **nepopisuje** reálný svět jevů, jenž opravdu pozorujeme. Abychom tyto námi pozorované jevy popsali, potřebujeme kromě ψ ještě další matematické prvky: individuální proměnné, třeba x a p (polohu a hybnost), které používáme k popisu světa. Mnohosvětová interpretace je jasně nevysvětluje.“*

Rovelli i pomocí nadneseného vyjádření o vlně pravděpodobnosti ψ velmi dobře a správně kritizuje ideu mnoha vesmírů jako skutečných. Původní interpretace kvantových jevů pouze teoreticky naznačovala aspoň nějaké řešení. Existenci mnoha vesmírů (mnohovesmíru) **nelze** reálně (fyzikálně) prokázat. Zastánci jejich „reálné“ existence sami říkají, že do jiných vesmírů nemáme žádné spojení, že jsou od našeho vesmíru izolované a bez možnosti zrušení té izolace. Dále sami tvrdí, že v každém z těch vesmírů platí úplně jiné přírodní zákony, ale sami nevědí jaké. Takže myšlenka reálné existence jiných vesmírů je pouhou spekulací, nějakou podivnou metafyzikou.

Autor se také zmiňuje o přenosu pojmů poloha a hybnost z klasické fyziky, kde mají zcela přesnou hodnotu, do kvantové teorie, kde jsou hodnoty těchto veličin nepřesné, rozmazané. Proto se v kvantové teorii uvádějí změny těchto veličin, místo x se uvádí Δx a místo p se píše Δp . Rovelli se tomu ve své knížce vyhnul, ale nevím, zda taková snaha po zjednodušení věc spíše nezkomplikovala. Stačí zopakovat středoškolské pojetí, že symbol Δx nemůžeme roztrhnout na dva, jako by šlo o součin $\Delta \cdot x$, v němž můžeme symbol násobení (tečku) vynechat. Také: Δx označuje změnu polohy (růst, pokles, kmitání kolem „středu“). Dá se říct, že symbol Δx označuje jakýsi obláček bodů (nebo: obláček hodnot, velikostí). Podobně je tomu se symbolem Δp . Možná, že zde působí odlišný symbol násobení, použití tečky je v české (a ve slovenské) knize týkající se matematiky nebo fyziky (v učebnici nebo v populární knížce).

Skryté proměnné

*„Základní myšlenka Bohmovy teorie je prostá: stejně jako v mnohosvětové interpretaci je vlna ψ elektronu zcela reálnou entitou [stačí: zcela reálná]. Nadto je ale skutečný **také** [zvýraznil autor] elektron: je to reálná materiální částice [stačí: reálná částice], která má konkrétní polohu. ...Elektron se pohybuje v reálném prostoru „pilotován“ ... vlnou ψ .“* Vlna pravděpodobnosti ψ nějak řídí, pilotuje elektron uvažovaný jako částička hmoty, zjednodušitelná na hmotný bod. Jinak: elektron jakožto hmotný bod je doprovázen vlnou ψ , která řídí – pilotuje jeho změnu polohy čili jeho pohyb. Vlna ψ se zde proto nazývá „pilotní“.

*„Je to brilantní myšlenka: interferenční jevy jsou určeny pilotní vlnou ψ , která vede **objekty**; samy tyto objekty ... jsou vždy pouze na jediném místě [lépe: jejich poloha je přesná, „nerozmazaná“, elektrony nevytvářejí jakýsi „obláček“].“*

*Ale takhle jednoduché to není. Ve skutečnosti onu vlnu **nikdy nemůžeme znát** [zvýrazněno autorem], protože ji nevidíme [neboť se jedná o vlnu pravděpodobnosti, pravděpodobnost*

mění se vlnovitě; a pravděpodobnost je „věc“ abstraktní]. *Vidíme pouze elektron.*“ Avšak: Elektron uvažovaný jako tělíčko či hmotný bod také vidět nemůžeme, protože to žádné tělíčko není. My pouze o elektronu jakožto hmotném bodu uvažujeme při popisu, tj. v matematické rovnici. Pro přesnost popisu si myslíme, že elektron je tělíčkem, nahrazeným – kvůli přesnosti popisu – hmotným bodem. S takovým vysvětlením se nesetkáme, jaksí se přeskakuje. Ono to ale výklad komplikuje **zdánlivě**. Nebo: zavádí **domněle**.

„Chování elektronu je tedy určeno proměnnými (vlnou) jež nám zůstávají ukryty. Proměnné jsou principiálně skryté: **nikdy** [zvýraznil autor] je nemůžeme určit. Odtud pochází jméno **"teorie skrytých proměnných"**“ [změnil jsem původní: "teorie: skryté proměnné"].“

Pozn. vzadu: „Existuje i jiná možnost: kvantová mechanika je pouhou aproximací a skryté proměnné se efektivně projevují v jiném režimu. Prozatím však nelze tyto modifikace předpovědi kvantové mechaniky pozorovat.“

Fyzikální veličiny, ať už jsou konstantní nebo proměnné, které nemůžeme pozorovat natož měřit – to jsou prostě chiméry a řeč o nich je „plácání“. Snaha o vysvětlení kvantových jevů pomocí veličin, o nichž nevíme vůbec nic (které jsou pro nás skryté nebo jsou někde v nějakém jiném „režimu“, o němž také nic nevíme) nic nevysvětlí, naopak nám zamotá hlavu.

Na druhou stranu Bohmova myšlenka, že částice je skutečná vlna (ovšem ne pravdivostní!) je správná. Blíží se původní Schrödingerově myšlence, že částice je vlastně klubko vln. Atom není složen z malinkaté kuličky zvané elektron a z větší kuličky, zvané „jádro“, mezi nimiž je obrovská prázdnota. Atom je spíše kmitající chumel elektromagnetických stojatých vln nebo obsahující vibrující klubíčko elektromagnetického chvění nazývané „elektron“, což je část elektromagnetického chvění, jehož amplituda se „stěhuje“ ponejvíce v poměrně malém rozmezí, ale někdy ve větším rozmezí občas také celý přes atom a dokonce i za jeho klasické „hranice“. Vraťme se však do Rovelliho knížky:

„A ještě složitější problém se vynoří, vezmeme-li do úvahy také relativistickou teorii. Skryté proměnné brutálním způsobem narušují [bourají] relativitu: určují privilegovanou (ale nepozorovatelnou) vztahnou soustavu. Cenou za úvahy o světě o světě, jehož všechny proměnné jsou jako v klasické fyzice plně determinovány, je nejen to, že ony proměnné jsou navždy skryté [na věčné časy a nikdy jinak], ale i to, že jsou v rozporu se vším, co jsme se o světě díky klasické fyzice dověděli. Není to příliš velká cena?“

Heisebergův princip

Heisebergův princip (neurčitosti) vyjádřený vzorcem (v němž Rovelliho velká písmena nahrazují malými – malá písmena jsou obvyklá):

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar / 2.$$

Čteme to: Změna polohy krát změna hybnosti je větší nebo rovna polovině redukované Planckovy konstanty.

Tento vzorec vyjadřuje následující skutečnost: Jestliže bude změna v měření polohy (elektronu jako hmotného bodu) malinkatá, musí být změna v měření (v určení) hybnosti (toho elektronu) velká – a naopak. Jinak řečeno: čím přesněji zjistíme (změříme) polohu, tím nepřesněji určíme hybnost – a čím je hodnota hybnosti přesnější, tím je hodnota polohy méně přesná. To by vyjádřila úprava onoho vzorce:

$$\Delta x \leq \frac{\hbar / 2}{\Delta p} \text{ nebo } \Delta p \leq \frac{\hbar / 2}{\Delta x},$$

úprava, která vyjadřuje známější tvar podobný nepřímé úměrnosti. Ona nepřímá úměrnost je vyjádřitelná rovnicí, kde v ní **není** znaménko nerovnosti („menší než“). Čtenáři, kterým by nerovnosti dělaly potíže, mohou pochopit následující zjednodušení:

$$\Delta x = \frac{\hbar/2}{\Delta p} \text{ nebo } \Delta p = \frac{\hbar/2}{\Delta x}$$

a navíc si za $\hbar/2$ dosadit jedno písmeno, např. obvyklé k :

$$\Delta x = \frac{k}{\Delta p} \text{ nebo } \Delta p = \frac{k}{\Delta x}.$$

Tento vztah by pak četli: změna zjištění polohy je **nepřímo úměrná** změně naměření hybnosti (a naopak).

Opět upozorňuji, že výraz „změření polohy (elektronu)“, „změření hybnosti (elektronu)“ se týká zjištění polohy (hybnosti) elektronu jakožto hmotného bodu. Protože elektron hmotným bodem ve skutečnosti není, jeho poloha (či hybnost) **musí** být nepřesná, „rozmazaná“!

Pan Reichl v [17] rovnici Heisenbergova principu odvozuje.

[18]: Jiným tvarem tohoto principu neurčitosti je: $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$, součin neurčitosti velikosti

energie a intervalu času potřebného k takové změně energie (nebo úseku času potřebného pro změření té energie) je větší či roven polovině redukované Planckovy konstanty. Tento druhý tvar Heisenbergovy neurčitosti se někdy vysvětluje tím, že během kratičkého časového intervalu se může energie o něco změnit – na neurčitou hodnotu. Také se říká, že v maličkém časovém okamžiku si můžeme energii „vypůjčit“ a dodat ji do systému aniž bychom porušovali zákon zachování energie. Jenže koncem uplynutí onoho časového úseku tu energii musíme „vrátit“.

Vsuvka: Vybrané odstavce z „Náčrtu zobrazení kvantového monochromatického světa“

Kopie (z [21]) modře; **nynější poznámky fialově, někde v []**

[Ve 14 je to první vsuvka]

Princip věrné reprodukce

Základní pole [ZP; pojmenované jako „vakuum“] zachovává, reprodukuje, konečnou fázi modulací věrně a bez časového omezení – pokud je frekvence modulace v rezonanci s frekvencí tohoto pole.

Modulací základního pole (ZP) mohou být částice nebo tělesa. Budou se soustavně obnovovat (budou setrvávat v pohybu) pouze při rezonanci (souhře) základní frekvence (frekvence základního pole) a frekvence modulační či modulující toto pole na formu nazvanou „částice“. Jestliže je základní pole a jeho mechanická modulace („částice“) stejné podstaty není divu, že spolu mohou interagovat, interferovat, rezonovat.

Výraz „věrně“ má vystihnout okolnost, že při stálé reprodukci se nemění ani charakter ani velikost modulace. Například ZP nemění mechanickou modulaci v elektrickou, nebo nemění její velikost. Časově neomezená reprodukce znamená zachování modulační, tedy explicitní energie. Mění-li se např. mechanická modulace stykem s tělesem, nemůže z ní vzniknout ani více modulací neboli explicitních druhů energie, ani méně než měla původní modulace. Vzniklé struktury, jež se vyznačují **disharmonií** se základním polem, jsou jím rychle likvidovány.

Když základní pole a jeho modulace spolu nerezonují, je modulovaná forma rychle ničena. Základní pole může svou setrvačnost (schopnost neměnnosti) předat jen těm částicím nebo tělesům („hmotě“), které mají rezonanční frekvenci. K tomuto předání nemůže dojít při „rozladění“ (disharmonii).

Jinou otázkou je, **jak** se tvoří ze základní energie struktury, které jsou schopny modulační energii přijímat a věrně ji reprodukovat. A také to, jak se tyto struktury chovají při interakcích

různých modulací. O tom zatím nevíme nic, jsme nuceni něco předpokládat. Předpokládáme platnost principu interakce a jen rozvíjením jeho důsledků se můžeme přesvědčit o jeho oprávnění. Zatím můžeme jen soudit, že principy [různých či různosti modulací] se vzájemně nevylučují, jeden není popřením jiného, že naopak princip zachování energie [platící v námi pozorovaném světě] má svůj původ v principu věrné reprodukce.

Mechanomotivní modulace základního vlnění

Objektům – modulátorům ZP – jsme připsali motivitu, schopnost vyvolávat explicitní jevy jako změny struktury základní energie v klidném základním poli. Uvažujme o modulaci, při níž dochází pouze ke změně směru letu kosmonů [fotonů základního pole, základních fotonů], která nijak nemění jejich vnitřní strukturu, ani absolutní hodnotu jejich vnější rychlosti c [což je jedna ze základních vlastností ZP]. Předpokládejme, že ve světě se vyskytují objekty schopné odrážet bez jakékoliv ztráty na ně dopadající kosmony. Nabízí se tu představa odrazu elektromagnetického vlnění na zcela bezztrátovém oscilátoru.

Objekt, který je schopen takto odrážet základní vlnění, nazveme **mechanomotivní modulátor** a jím vyvolaný explicitní jev **mechanomotivní modulace**. Touto modulací mají být vysvětlitelné fyzikální jevy patřící do mechaniky.

Základní pohyb mechanomotivní reality

Základní pole uděluje všem v něm umístěným mechanomotivním objektům neustálý, plně zapříčiněný, chaotický pohyb – základní pohyb mikroobjektů [„částic“].

Z našeho, vakuocentrického pojetí [pojetí, beroucí „vakuum“ za základ všeho hmotného] výkladu „záhadného chování“ mikročástic vyplývá jako logický důsledek **Heisebergův princip neurčitosti**, ovšem jako jev odůvodněný, **zapříčiněný** vlastností základního pole. To pak znamená, že i jeho důsledek, nutnost užití metod statistiky při výkladu jevů je odůvodněn, zapříčiněn, že v základním poli neexistuje jev, který by nebylo možno vysvětlit jeho vlastnostmi, že v něm **nejsou** [neexistují] jevy nezapříčiněné. To je ovšem jiný než konvenční pohled na princip příčinnosti. V něm [V tomto našem pohledu] není příčinnost závislá na tom, zda dovedeme či nedovedeme všechno změřit, vystihnout nějakým formalismem. Příčinnost v ZP prostě je. [Nebo: Příčinnost je další základní vlastností ZP].

Objekt [samotný] **nemá** setrvačnost (ve smyslu vlastnosti „vrozené“ hmotě), je jen mechanomotivní; setrvačné je základní pole. **Podstatou setrvačnosti je platnost principu věrné reprodukce.**

[Poznámka: První verze „Náčrtu ...“ vznikla už v r. 1960 (!); Konec vsuvky.]

Kvantová superpozice [14]

„Prapodivnost kvant se odvíjí od jiného jevu zvaného "kvantová superpozice". Ta nastává, když jsou dvě neslučitelné vlastnosti systému přítomny (v určitém smyslu) současně. Že nějaký objekt může být zde a současně i někde jinde. Právě toto má na mysli Heisenberg, když říká, že „elektron už nemá žádnou trajektorii“: elektron již není pouze na jednom konkrétním místě. V tomto smyslu je na více místech. V žargonu kvantové teorie říkáme, že objekt se nachází v „superpozici“ různých poloh.“

„Na tomto místě však musíme být opatrní: kvantovou superpozici nikdy nevidíme. Co pozorujeme, jsou důsledky superpozice. Tyto důsledky se nazývají „kvantová interference“. Vidíme interferenci, nikoli superpozici.“ [V tomto odstavci jsou zvýraznění provedena autorem].

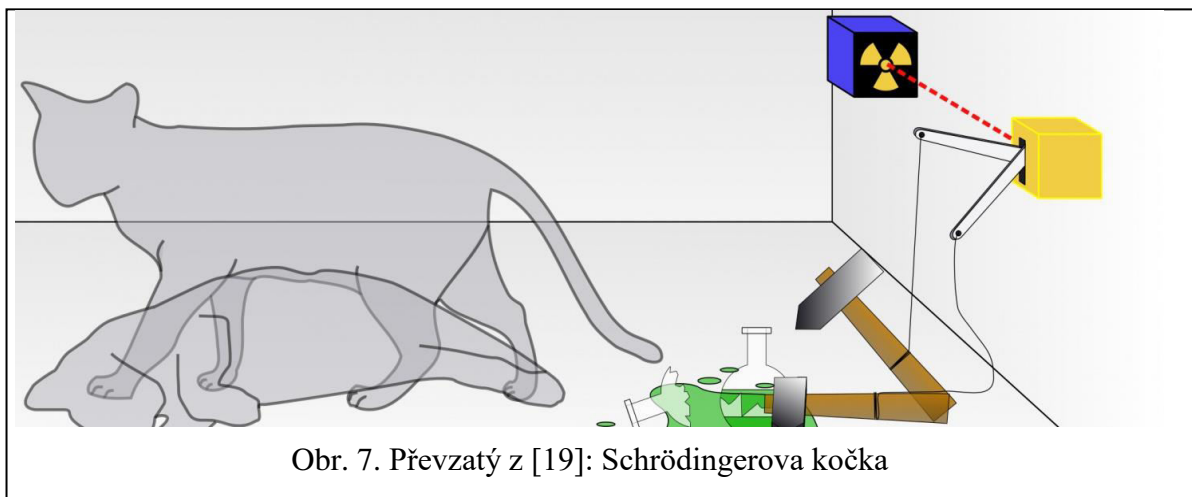
Jestliže – „mlčky“ či „skrytě v pozadí“ – uvažujeme **elektron** jako **objekt**, jako „kuličku“ „hmoty“ zjednodušenou na hmotný bod, potom vzhledem k pozorování musíme polohu tohoto bodu považovat za neurčitou, „rozmazanost“. Oproti klasickému pojetí polohy hmotného bodu jako veličiny zcela přesné se nyní poloha elektronu jakožto (odlišného) hmotného bodu jeví jako nepřesná, neurčitá. Totéž platí pro „hybnost“.

Termín „superpozice“ v kvantové teorii znamená zvláštní součet různých možností. Laicky můžeme tento pojem vysvětlit jako „super – pozice“, zvláštní souhrn všech možných poloh, některých pravděpodobnějších, jiných málo pravděpodobných.

„Také pojem "interference", s nímž se setkáváme u vlnění, a znamená tam skládání více vln do vlny jediné, má v kvantové teorii jiný význam: dle [19] skládání amplitud **pravděpodobnosti** několika možností vývoje systému."“

Schrödingerova kočka

„Schrödinger ... záhadu [superpozice] ilustroval svým slavným myšlenkovým experimentem: Namísto fotonu ... si představoval kočku“ v uzavřené krabici:



Obr. 7. Převzatý z [19]: Schrödingerova kočka

Pomocí pákového mechanismu, spouštěného dopadem částice radioaktivně rozpadajícího se prvku, tedy dopadem částice vyslané zcela náhodně, lze rozbít lahvičku s jedem. Stav kočky neznáme do té doby, než se do krabice podíváme. Je v superpozici živosti a mrtvosti. Jakmile krabici otevřeme a podíváme se, nastane jen jediná možnost – kočka je buď jasně mrtvá, nebo jasně živá. Někjaký neurčitý stav („stav kvantové superpozice“) je vyloučen.

Toto Schrödingerovo přirovnání chování „kvantového objektu“ nebo „kvantového systému“ (což je buď částice, nebo systém částic – např. atom) ke stavu kočky – tj. živosti či mrtvosti – se mi jeví „přitažené za vlasy“. Kočka je živý tvor a může svou tlapkou rozbít danou lahvičku ještě předtím, než nějaký radioaktivní prvek vyše částici. Dále, kočka je makroskopický objekt – jasně pozorovatelné těleso, zatímco částice nějaké těleso či tělísko není!

Rovelli život a smrt kočky nahrazuje bdělostí a spánkem. To se mi nelíbí. Vizte také [20].

Kvantové provázání

[22]: „Jev nazývaný kvantové provázání ... Albert Einstein označil za „strašidelnou akci na dálku“, kdy spolu interagují dvě částice (v tomto případě ... fotony) tak těsně, že mezi nimi vznikne jistý druh pouta. V jeden moment jakoby dokonce splynuly v jednu. ... oba fotony se

navzájem ovlivňují i poté, co se od sebe vzdálí na libovolnou vzdálenost, odtud právě Einsteinův citát. K reakci mezi provázanými částicemi dochází bez ohledu na jejich vzdálenost téměř okamžitě, tedy dokonce rychleji než rychlostí světla. To je dle teorie relativity nemožné“

[23]: „Seženeme nějaký kvantový systém – může to být třeba dvojice fotonů z jednoho zdroje. Fotony potom necháme letět každý opačným směrem třeba až na konec vesmíru. A protože kvantová mechanika tvrdí, že **polarizace** jednoho i druhé fotonu jsou na sobě závislé (kvantově korelované) a že **polarizace** nejsou určeny v okamžiku, kdy oba fotony opouštějí zdroj, nýbrž až v momentu, kdy ji fotonům tuto vlastnost změříme, pak lze provést následující. Změřením **polarizace** fotonu na jednom konci vesmíru nastavíme **polarizaci** fotonu na druhém konci. Pokud k tomu nedojde v okamžiku měření přes celý vesmír, jsi nahraná, kvantová fyziko. To proto, že kvantové provázání není jev lokální, ale skutečně nelokální.“

[Poznámka: slovo „polarizace“ jsem zvýraznil proto, že Rovelli v jedné části své knihy píše o barvě místo o polarizaci. Takové „zjednodušení“ je podle mého soudu hrubou chybou].

Světlo, kromě toho, že je složeno z fotonů, je elektromagnetické (EM) vlnění. To vlnění může kmitat v rovině kolmé na směr šíření vlny, kdy výchylky elektrických kmitů jsou kolmé na výchylky magnetických kmitů. Jestliže se např. EM vlna šíří zleva doprava (nebo zprava doleva), je výchylka elektrické složky v určitém okamžiku směrem dopředu (dozadu). Není-li EM vlnění polarizováno, rovina jejich kmitů nepravidelně rotuje. Nezapomeňme však, že EM vlnění přitom letí a amplitudy elektrické i magnetické složky jsou každou chvíli v jinak pootočeném směru ovšem vždy kolmém na směr šíření vlny. V našem příkladu amplituda elektrické složky po směru přímo dopředu je ve směru dopředu (mírně nebo hodně šikmo dolů (nahoru)). Když je EM vlnění polarizováno **lineárně**, k žádné rotaci nedochází, výchylky složek jsou pořád v **téže rovině** a elektrická vlna se podobá mechanické vlně velmi dlouhého provazu nebo lana. Magnetická složka také, ale ta je vždy na elektrickou kolmá. U celé a nepolarizované EM vlny už analogie s provazem nebo lanem neplatí.

Je to moc složité? Ale o barvě se nedá uvažovat, jiná barva znamená jinou frekvenci. Změna frekvence (u viditelného světla změna jeho barvy) **nemůže** zde (tj. u provázanosti) nastávat! Když se budeme držet Rovelliho výkladu, způsobíme tím zmatek – můžeme se domnívat, že při provázanosti se může měnit frekvence (barva). Korelace (souvztažnost) provázaných fotonů nijak frekvenci (barvu) neovlivňuje. Když v určitém okamžiku zaznamenejme („naměříme“) směr kmitů výchylky elektrické (nebo magnetické) složky EM vlnění (např. viditelného světla) u jednoho fotonu zde na Zemi, pak tentýž směr má jeho „dvojče“ i daleko ve vesmíru, kam mezitím doletělo (než jsme si nachystali fyzikální pomůcky čili „měřící“ zařízení).

Náhled do matematiky používané v kvantové fyzice

Upravuji Reichlův výklad [24]:

- Kvantový systém popisujeme vlnovou funkcí ψ . O tom jsem psal výše.
- „Každé kvantové veličině je přiřazen její lineární **operátor** – návod, jak příslušnou veličinu v kvantové fyzice určit.“ Operátor se značí písmenem se stříškou
- „Příkladem mohou být operátory: $\hat{P} = -x^2$ a $\hat{Q} = | |$ (absolutní hodnota).“
- „Celkové energii dané soustavy přiřazen operátor \hat{H} , který se nazývá **Hamiltonův operátor** nebo zkráceně **hamiltonián**.“
- „Operátor časové změny má tvar $\hat{L} = \frac{1}{i\hbar} \hat{H}$. Jinými slovy: Vývoj stavu daného systému v čase je popsán **Schrödingerovou rovnicí**.“

- „Stav odpovídající vlnové funkci ψ se většinou označuje symbolem $|\psi\rangle$ (tento symbol pochází z Diracovy „ket-bra notace“ a nazývá se vektor ket). Někdy se též vyznačuje, v jaké reprezentaci se počítá - tj. jestli jsou veličiny vyjádřené pomocí souřadnice x (zápis $\langle x|\psi\rangle$) nebo pomocí hybnosti \vec{p} (zápis $\langle p|\psi\rangle$)“.
- Symbol $\frac{\partial f}{\partial t}$ značí tzv. **parciální derivaci** podle proměnné x . Je to podobný symbol jako symbol $\frac{df}{dt}$. Rozdíl je v tom, že symbol $\frac{df}{dt}$ se používá u funkcí **jedné** proměnné, zatímco $\frac{\partial f}{\partial t}$ se používá u funkcí **více** proměnných - tj. funkcí, které jsou závislé např. na x i na t (nebo na x, y, z i t [na délkách i na času] - jako např. vlnová funkce).

Poznámka k poslednímu bodu: Malá změna veličiny se značí Δb , „nekonečně“ malá změna dg . Stejně jako Δb , tak i dg nelze roztrhnout. Podobně: $\frac{df}{dt}$ je jediný symbol, neroztr-

žitelný: derivace f podle času; $\frac{\partial f}{\partial t}$ je parciální derivace f podle času (kdy nyní f závisí ještě na něčem jiném než na času, např. na poloze).

Poznámka k **celé** kapitole „Náhled ...“: Jde opravdu jenom o náhled. Není třeba nějaké hluboké porozumění. Čtenář se má pouze s matematickým zápisem seznámit, co se tak asi pro matematické vyjádření kvantových jevů používá. Víc nic! Při popularizaci kvantové mechaniky odborníci často vynechávají matematiku skoro vůbec nebo použijí velmi málo zjednodušené matematiky - tak jak to např. dělá citovaný Rovelli. Některá Rovelliho zjednodušení se mi však jeví jako prohřešky proti matematice i fyzice. Tak já jsem použil jen kapku složitější výrazy, ale ne příliš: kdo prošel středoškolskou fyzikou, tomu by to nemělo dělat žádné problémy. Naprostý laik, který matematiku nenávidí a fyziku jen připouští (např. jako základ techniky) se ovšem v mém textu orientovat také může. Zejména když všechno výše napsané bude brát „s nadhledem“.

Odkazy

- [1] https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantová_mechanika
- [2] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/717-quantova-fyzika>
- [3] https://ufmi.ft.utb.cz/texty/el_mag/F2_10.pdf
- [4] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/538-zareni-absolutne-cerneho-telesa>
- [6] https://cs.wikipedia.org/wiki/Absolutně_černé_těleso
- [5] <https://cs.khanacademy.org/science/obecna-chemie/xefd2aace53b0e2de:atomy-a-jejich-vlastnosti/xefd2aace53b0e2de:fotoelektronova-spektroskopie/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>
- [7] https://cs.wikipedia.org/wiki/Wienův_posunovací_zákon
- [8] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/723-fyzikalni-podstata>
- [9] <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [10] <https://www.estav.cz/cz/6444.solarni-energie-pro-rodiny-dum-princip-funkce-fotovoltaickych-eletraren>
- [11] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/728-de-broglieho-hypoteza>
- [12] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1683-bragguv-zakon>
- [13] <https://www.dub.cz/cs/horizont-poznani-1-3-quantova-mechanika-a-dvousterbinovy-experiment>

- [14] <http://vaclavdostal.8u.cz/Helgoland.pdf>; V. Dostál, Rovelliho Helgoland. O vzniku a smyslu kvantové teorie, 2023
- [15] http://vaclavdostal.8u.cz/vakuum_zaklad.pdf; V. Dostál, Vakuum je základní energie, 2023 (první verze 2007)
- [16] <https://cs.wikipedia.org/wiki/Koherence>
- [17] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/735-prvni-heisenbergova-relace-neurcitosti>
- [18] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/736-druha-heisenbergova-relace-neurcitosti>
- [19] <https://www.aldebaran.cz/glossary/print.php?id=167>
- [20] https://cs.wikipedia.org/wiki/Schrödingerova_kočka
- [21] <http://vaclavdostal.8u.cz/nacrt.pdf>; V. Dostál, Náčrt zobrazení kvantového monochromatického světa
- [22] https://www.lidovky.cz/orientace/veda/vedci-poprve-vyfotili-kvantove-provazani-strasidelna-akce-na-dalku-riikal-o-nem-einstein.A190715_134438_In_veda_mber
- [23] https://neviditelny pes.lidovky.cz/veda/veda-jak-funguje-kvantove-provazani-a-proc-ho-einstein-nemel-rad.A230419_202110_p_veda_nef
- [24] <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/743-zakladni-postulaty-kvantove-mechaniky>