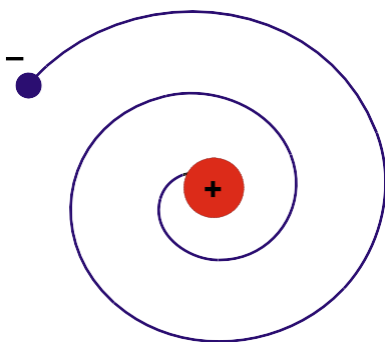


Vzal jsem si pro své názory, pro svou hypotézu „Kulhánkovu kvantovku“. Vepsal jsem je červeným (někde i modrým) písmem.

TF2: KVANTOVÁ TEORIE



STUDIJNÍ TEXT PRO DOKTORSKÉ STUDIUM

PETR KULHÁNEK

**PRAHA
2001/2010/2012**

FEL ČVUT

PŘEDMLUVA

Teoretická mechanika vychází ze zobecněných zkušeností člověka, jakého člověka ? odborníka anebo i laika ? z toho, jak vnímáme svět kolem sebe v našich měřítkách – v tzv. makrosvětě. Výborně, v makrosvětě platí něco jiného než v mikrosvětě, tedy to co mění zákony je pouze a pouze a pouze velikost intervalu (délkového i časového)...když vezmu obrovský interval, budu vidět časoprostor celého vesmíru jako plochý, když vezmu supermalý interval budu vidět časoprostorovou pěnu tedy hodně zakřivený časoprostor. Proč je makro-interval plochý a mikrointerval děsně křivý ??? Snažíme-li se zákony teoretické mechaniky aplikovat na tělesa malých rozměrů (atomy, částice) – tzv. mikrosvět, nebudou již předpovědi ve shodě s experimentem. Tak ... důvod je pouze a pouze ve velikosti intervalu..., není to divné ? a zajímavé ? V mikrosvětě platí jiné zákony. ??? Jiné, anebo modifikované ? Jiné zákony ? a proč má na „obecné“ zákony (které se fyzika snaží sjednotit) tak nesmírný vliv „velikost intervalu ??? (délkového i časového) ... proč vlivem změny velikosti intervalu se mění zákony ? Po Velkém třesku nebylo toto „dělení“ na zákony makrosvěta a mikrosvěta ?..., po velkém třesku byl Vesmír „malý anebo velký“ ??? Jak se můžou měnit zákony Vesmíru ze stavu „malých intervalů“ na zákony „velkých intervalů“ ??? ... či naopak ??? Například samotný akt měření může ovlivnit objekty mikrosvěta. Pane profesore, proč „akt (měření) makrosvěta nemění zákony a stavy makrosvěta“ a...a proč „akt makrosvěta (měření) mění zákony mikrosvěta“ i stavy mikrosvěta? ... v čem je logika, v čem je ten důvod, v čem je ten zásadní „princip“ ???! Chceme-li určit polohu fotbalového míče, zachytíme okem fotony odražené od míče a informaci zpracujeme. Chceme-li určit polohu elektronu, odražený foton, z kterého na polohu usuzujeme, udělí elektronu nezanedbatelný impuls a změní jeho stav. Jak víte kam máte namířit „jeden foton“, aby změřil polohu „jednoho elektronu“ ? Vy polohu elektronu znáte a proto „umíte“ na něj namířit „měřící foton“ ? Pokud foton při aktu měření „znění stav elektronu“, pak to znamená, že musí principiálně donést informaci (ten foton odražený) o stavu po kontaktu s elektronem ? né ? A proč nedonese zprávu o stavu elektronu před kontaktem ?... proč až „stav-polohu“ elektronu až „po“ kontaktu a né stav „před“ kontaktem...; proč ? důvod a důkaz ? !!! Já Vám to řeknu *proč* : protože ten váš Heisenbergův princip neurčitosti je špatně, tedy ne-li špatně tak přinejmenším je vadně interpretován, protože ten princip nebere v úvahu čas, tok času,...čas ovlivní akt, čas ovlivní elektron při kontaktu s fotonem, nikoliv foton sám, čas ovlivní „stav-polohu“... Asi největší rozdíl mezi jevy v makrosvětě a mikrosvětě souvisí s komutativností. V makrosvětě jsme si zvykli na to, že jevy, které pozorujeme, jsou komutativní – nezáleží na pořadí. To chápou po matematické linii...že 5×6 je stejné jako 6×5 ale...ale Vy tu říkáte slovíčko „jevy“, že jevy jsou či nejsou komutativní ... to mi vysvětlete podrobněji a řádně. Je jedno, zda nejprve provedeme měření A a poté měření B nebo naopak. Zkratka $AB = BA$. V mikrosvětě tomu tak ale není. Jaké „jevy“ tedy jsou v makrosvětě komutativní tj. zaměnitelné aby tyto jevy pak v mikrosvětě zaměnitelné nebyly ? matematiku do toho nepleťte, ale jevy mi prozradte... Akt měření ovlivňuje stav objektů a záleží na tom, které měření provedeme jako první. Aha... foton, který „osáhá“ elektron ho změní na...na..na co ? ...že by „poloha“ objektu byla stavem objektu ? To snad ne...!! Poloha objektu není stav objektu... To je také hlavním důvodem selhání teoretické mechaniky při popisu mikrosvěta. Teoretická mechanika je založena na komutujících matematických objektech. Jedinou nekomutující strukturou jsou Poissonovy závorky, a to navíc ještě pomocnou. Pan profesor tu říká v čem je – především – rozdíl mezi makrosvětem a mikrosvětem...jenže pan profesor nepopisuje reálný rozdíl, ale matematický rozdíl. Je to jako by jste chtěli popisovat „matici“ jeden autor jí popíše jako železný útvar šestihranný se závitem uprostřed, druhý jí popíše jako Matici Slovenskou a třetí jí popíše jako matici v matematice. Tvrdit, že reálný vesmír je v makrosvětě komutativní a v mikrosvětě nekomutativní, je špatně, musel by to pan profesor (a to bez matematiky) dokázat !

Zadruhé : pokud rozdíl mezi makrosvětem a mikrosvětem v z n i k á pouze na základě velikosti intervalu délkového (čili velký kontra malý), pak jak je možné, že pouze na základě velikosti (dle voleného etalonu délky) dojde a to právě v matematice, komutativnost

versus nekomutativnost, tak neskutečně obrovské matematické složitosti vyjádření, kde toto vyjádření je „v sumáři“ zapsáno jak řekl nějaký student na Aldebaranu →

Napsal pan Tao na Aldebaranu 15. říjen 2014, 19:21 : na kvantovku existuje v angličtině nepřehledné množství velmi kvalitních zdrojů i přednášek na youtube. Všechno záleží jen od tvé úrovně, na jaké jsi schopen se napojit. Pokud jsi nepolíbený vysokoškolskou matematikou, tak téměř nemáš šanci nastudovat kvantovku na matematické úrovni. Pokud jsi studoval něco, kde je sice matematika, ale není to přímo fyzika (jako třeba informatiku), tak si myslím že šanci máš, ale bude to i tak dost obtížné. Věř mi že kvantovka má mnoho úrovní hloubky, do jakých můžeš jít. Já mám za sebou 3 kurzy vysokoškolské kvantové mechaniky - Úvod do kvantové mechaniky, Pokročilá kvantová mechanika, Relativistická kvantová mechanika (Diracova rovnice) a pak to jde ještě dál Kvantové teorie pole, Kvantová elektrodynamika, Částicová fyzika, Strunová teorie atd. A čím dál jsi, tím těžší matematiku potřebuješ.

To je šíleně mnoho matematiky pro *takovou trivialitu* jako je „velikost“, jako je rozdíl ve velikosti, [jen rozdíl ve velikosti intervalu délkového], že **velký** vesmír je **komutativní** a **malý** je **nekomutativní**. Proč ??? - - Proč „nekomutativnost“ je zrodem tak šíleně náročné a rozvinuté matematiky ? ... proč ? Velký vesmír se zrodil z malého vesmíru, po big-bangu..., jak se to stalo že malý vesmír nekomutativní přešel ve velký vesmír komutativní ??

První **jevy** v mikrosvětě, které byly v příkrém rozporu s teoretickou mechanikou, byly objeveny na počátku 20. století. **Jevy reálné anebo matematické ???** Např. : jevem reálným jsou silné jaderné síly. Existovaly po big-bangu ? Fyzika učí, že po big-bangu byla jen jedna síla, universální (?) a ta se „vývojem“ (vývojem čeho ?...pouze toho rozpínání ? tj. že se mění velikost „jednotky délky“ ?) začala štěpit na 4 síly. Jaký je důvod, že „prasila universální“ (a co to je ?) „vyvine štěpením“ čtyři jiné síly ? co to je „to“ štěpení ? Byl na to „předem“ předpis, anebo to byla jen nááááhoda ? že vznikly právě jen 4 síly a zrovna takové...proč nevznikly jiné 4 síly ? Zajímá to vůbec někoho z fyziků ? Jejich analýza vedla ke zrodu kvantové teorie – jedné ze dvou nejúspěšnějších teorií v dějinách lidstva (kvantová teorie, obecná teorie relativity). **Základní rovnice** a vztahy **zůstávají shodné** s teoretickou mechanikou, platí však **pro zcela jiné objekty**. Je to možné, že **tolik matematiky pro mikrosvět a pouze zlomek matematiky pro makrosvět** ? Například Lieova algebra Poissonových závorek je aplikována na jisté operátory představující dynamické proměnné. Předpovědi dnešní kvantové teorie se shodují s experi- mentem na mnoho platných cifer.

Uvedme nyní **základní rozdíly světa malých rozměrů – mikrosvěta – oproti situacím, na které jsme zvyklí z našeho okolí – makrosvěta:** (tak to mě velmi zajímá...)

- 1) **diskrétní hladiny některých dynamických proměnných** (například energie, moment hybnosti ...) – v dané situaci můžeme naměřit jen určité hodnoty u sledované veličiny a žádné jiné. **V makrosvětě jsou měřené hodnoty spojité** (v mikrosvětě „diskrétní, tedy kvantované“). Mikrosvět je lineární (zřejmě právě kvůli té časoprostorové pěně ve které žije a z které vyskakují vlnobalíčky. Pěna je lineární stav. Kdežto makrosvět je nelineární – gravitace je nelineární. Matematicky to neumím...
- 2) **dualismus vln a částic** – objekty mikrosvěta se mohou chovat jako vlny i jako částice. ...anebo jako částice = vlnobalíček-uzlíček, který se pohybuje „na vlně“ (na vlnách) 3+3 dimenzionálního časoprostoru. Takže „zakřivenější“ vlna (z čp) plave v jiné křivosti (čp).
- 3) **nekomutativnost aktu měření** – při měření hodnot dvou dynamických proměnných (například polohy a rychlosti) může výsledek záležet na pořadí provedení měření. Akt měření totiž ovlivňuje stav systému, **po měření se systém obecně nachází v jiném stavu než před měřením**. **Myslím, že systém se nachází v jiném stavu (stále v jiném stavu) i bez měření...ovlivňuje to čas, tok plynutí času...který Heisenberg nerespektuje.**
- 4) **relace neurčitosti** – zvýšení přesnosti měření jedné dynamické proměnné

v některých případech sníží přesnost měření jiné dynamické proměnné. **Změna polohy je jiná než změna času ..., prostě Heisenberg** http://www.hypothesis-of-universe.com/docs/g/g_054.doc Tato měření se navzájem ovlivňují a jsou nekomutativní. **Matematicky nekomutativní, fyzikálně však ...(?) možná je třeba trochu poopravit fyziku...**

- 5) ***nedeterminismus kvantové teorie*** – dva experimenty připravené za stejných podmínek mohou dopadnout různě. **Opět v tom hraje roli „tok času“...** Při provedení mnoha pokusů zjistíme, že výsledky mají pravděpodobnostní charakter. Jsme tedy schopni předpovědět jen to, s jakou pravděpodobností naměříme ten či onen možný jev, nikoli který jev konkrétně nastane. **Opět nějaká chyba s Heisenbergem, opět nerespektování toku času „do rovnic“... něco je špatně s těmi relacemi neurčitosti**

Fyzika se tak dostala před úlohu vytvořit takovou teorii, která by souhlasila s experimenty v mikrosvětě a v makrosvětě přecházela v klasickou teoretickou mechaniku. Konstrukcí kvantové teorie se budeme zabývat v této části sylabu. Aktuální verzi sylabu naleznete na serveru www.aldebaran.cz v sekci Studium.

Petr Kulháněk

OBSAH

2. KVANTOVÁ TEORIE	5
2.1 VZNIK A VÝVOJ KVANTOVÉ TEORIE	5
2.2 (M) OPERÁTORY V KVANTOVÉ TEORII	9
2.2.1 <u>UNITÁRNÍ PROSTORY (PROSTORY SE SKALÁRNÍM SOUČINEM)</u>	9
2.2.2 <u>OPERÁTORY</u>	12
2.2.3 <u>PROJEKČNÍ OPERÁTORY</u>	17
2.2.4 <u>ROZVOJ PRVKU DO BÁZE</u>	19
2.2.5 <u>SPEKTRÁLNÍ TEORIE</u>	21
2.3 ZÁKLADNÍ PRINCIPY KVANTOVÉ TEORIE	26
2.3.1 <u>ZÁKLADNÍ AXIOMY A DEFINICE</u>	26
2.3.2 <u>KOMPATIBILITA MĚŘENÍ A HEISENBERGOVY RELACE</u>	30
2.3.3 <u>VLASTNÍ STAVY ENERGIE, SCHRÖDINGEROVA ROVNICE</u>	33
2.4 HARMONICKÝ OSCILÁTOR	36
2.4.1 <u>ŘEŠENÍ POMOCÍ VLNOVÉ MECHANIKY (SCHRÖDINGER)</u>	36
2.4.2 <u>ŘEŠENÍ BEZ VOLBY REPREZENTACE (DIRAC)</u>	40
2.4.3 <u>ŘEŠENÍ POMOCÍ MATICOVÉ MECHANIKY (HEISENBERG)</u>	43
2.5 SFÉRICKÝ SYMETRICKÝ POTENCIÁL	45
2.5.1 <u>MOMENT HYBNOSTI</u>	47
2.5.2 <u>ŘEŠENÍ V X REPREZENTACI, KULOVÉ FUNKCE</u>	50
2.5.3 <u>JEDNODUCHÉ SYSTÉMY: OSCILÁTOR, VODÍK, JÁMA</u>	52
2.6 ČASOVÝ VÝVOJ	54
2.6.1 <u>EVOLUČNÍ OPERÁTOR</u>	54
2.6.2 <u>ČASOVÁ SCHRÖDINGEROVA ROVNICE</u>	56
2.6.3 <u>OSCILACE NEUTRIN</u>	57
2.6.4 <u>DVOUŠTĚRBINOVÝ EXPERIMENT</u>	58
2.6.5 <u>EHRENFESTOVY TEORÉMY, VIRIÁLOVÝ TEORÉM</u>	59
2.7 RELATIVISTICKÁ KVANTOVÁ TEORIE, SPIN	62
2.7.1 <u>PROSTOROVÁ ROTACE A LORENTZOVA TRANSFORMACE</u>	62
2.7.2 <u>SPIN</u>	63
2.7.3 <u>KLEINOVA-GORDONOVA ROVNICE</u>	65
2.7.4 <u>DIRACOVA ROVNICE</u>	69
2.7.5 <u>POZITRON, C SYMETRIE</u>	79
2.7.6 <u>ELEKTRON A JEHO POLE, U(1) SYMETRIE</u>	81
2.8 SOUSTAVA STEJNÝCH ČÁSTIC	85
2.8.1 <u>OPERÁTOR VÝMĚNY DVOU ČÁSTIC</u>	85
2.8.2 <u>BOSONY A FERMIONY, PAULIHO PRINCIP</u>	86
2.8.3 <u>DRUHÉ KVANTOVÁNÍ</u>	87
2.8.4 <u>UKÁZKA DRUHÉHO KVANTOVÁNÍ PRO KLEINOVO-GORDONOVO POLE</u>	89
PŘÍLOHA – ZOBECNĚNÉ FUNKCE	92
<u>P1. DIRACOVA DISTRIBUCE</u>	92
<u>P2. KONVOLUCE</u>	94
<u>P3. GREENŮV OPERÁTOR A GREENOVA FUNKCE</u>	95

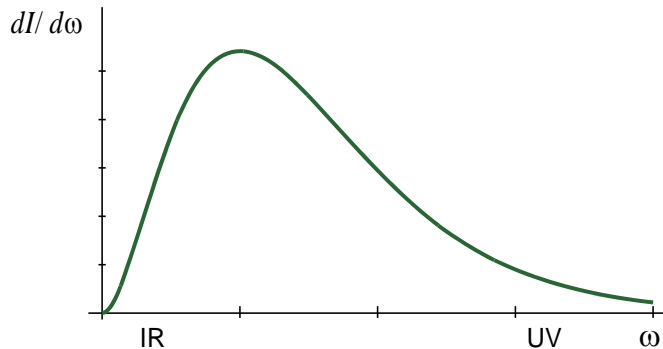
2. KVANTOVÁ TEORIE

2.1 VZNIK A VÝVOJ KVANTOVÉ TEORIE

Shrňme nyní základní **experimentální fakta**, která vedla ke zrodu kvantové teorie:

Záření absolutně černého tělesa:

V absolutně černém tělese (lze za ně považovat například každou hvězdu) je v rovnováze látka a záření při nějaké konkrétní teplotě T . Sledujeme-li vyzařování absolutně černého tělesa, zjistíme, že **na různých frekvencích vyzařuje s různou intenzitou...a už jsme (zase) u toho „problému času“** Experimentálně pozorovaný průběh energie

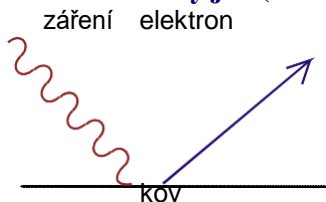


vyzařené na jednotkovou frekvenci je na obrázku. Teoretické výpočty křivky záření absolutně černého tělesa, které prováděli Rayleigh, Jeans a Wien, vedly k odlišným závislostem. Buď divergovaly v infračervené (IR) nebo v ultrafialové (UV) oblasti spektra. Správnou formuli uhodl až Max Planck v srpnu 1900 tím, že zkusil porovnávat různé funkce s naměřenými údaji. Jeho výsledek zněl: $dI/d\omega \sim \omega^3 \exp[-\text{const } \omega / T]$. Za další dva měsíce odvodil Planck tuto závislost i teoreticky za předpokladu, **že energie světla o určité frekvenci ω se nemění spojitě, ale je celistvým násobkem základního energetického kvanta** kvantum je to proto, že foton je „jistý vlnobalíček“

$$E = \eta \omega; \quad \eta = 1.05 \times 10^{-34} \text{ Js} \quad (2.1)$$

Veličina η se nazývá redukovaná Planckova konstanta. Planck původně použil předpoklad o **kvantování energie** pro zjednodušení matematických výpočtů. **Kvantování pěnivého časoprostoru vypadá jak ?...no, jak asi může vypadat ? uděláme-li řez takovou časoprostorovou pěnou, budou na průmětně „zředěnin a zhuštěnin, čili nuly a jedničky, čili něco a nic, tedy např. tok elektronů a mezer ve drátu, atd. určitě by se našly vhodnější příklady, které mě nyní nenapadají** Později se ukázalo, že energie elektromagnetického záření **určité frekvence je skutečně kvantována, to není v rozporu s mým názorem, naopak** tj. její **pozorované hodnoty** nejsou spojitě, ale mění se skokem o základní energetické kvantum $\eta \omega$. **Na plátně (průmětně) „zhuštěnin a zředěnin“ (čehokoliv) je prostě přirozené, že se mění, čili střídají tyto „kvanta“ „skokem“...**

Fotoelektrický jev (fotoefekt):



Při dopadu světla (elektromagnetického záření) na povrch kovu může být z kovu vytržen elektron, který opustí povrch kovu. K uvolňování elektronů z kovu dochází při frekvencích světla vyšších než prahová frekvence ω_0 , která je pro daný kov charakteristická. Máme-li k dispozici světlo s frekvencí nižší než prahovou, emise elektronů nenastane, byť bychom použili světlo se sebevětší intenzitou. Tento **experiment je v rozporu s představou o světle jako elektromagnetickém vlnění**. K fotoefektu by mělo docházet při každé frekvenci a dostatečnou energii k emisi by mělo jít získat zvýšením intenzity dopadajícího světla.

Řešení podal A. Einstein v roce 1905. **Elektromagnetické vlnění se chová při fotoefektu jako částice**. Tyto částice nazval *fotony*. Energie jednoho fotonu záření o frekvenci ω je právě energie jednoho energetického kvanta (2.1). Vysvětlení fotoelektrického jevu je nyní velice jednoduché. Na povrchu kovu dochází ke srážce fotonu s elektronem. Aby foton vyrazil

elektron, musí mít vyšší energii než je vazbová energie elektronu v kovu: $\eta\omega \geq E_i$. Prahová frekvence zřejmě je $\omega_0 = E_i / \eta$. Celková energetická bilance

$$\eta\omega = E_i + \frac{1}{2} m_e v^2$$

se nazývá Einsteinova rovnice pro fotoefekt. Energie dopadlého fotonu se spotřebuje na vytržení elektronu z kovu a na kinetickou energii vylétávajícího elektronu.

Je to pro mě a především pro tu HDV neštěstí, že neumím tu matematiku..., škoda...mohlo to vše být už dávno za mnou. Mohlo se HDV ujmout spousta lidí schopných a nedokonalé náznaky v HDV došřit.

Elektromagnetické vlnění tedy můžeme považovat za soubor fotonů. Proto i při záření absolutně černého tělesa se mění energie záření o dané frekvenci skokem – tento skok představuje přírůstek nebo úbytek jednoho fotonu.

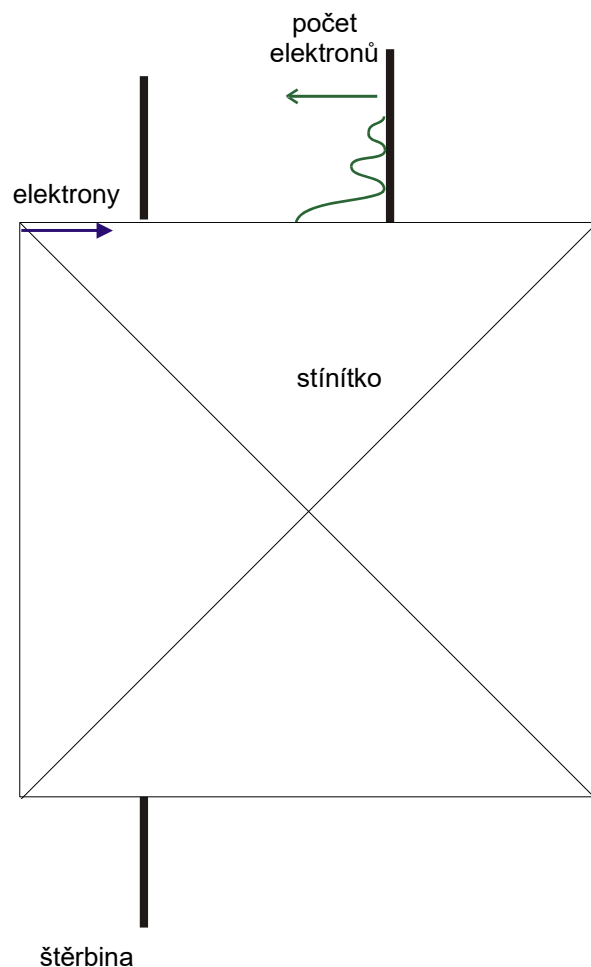
Comptonův jev

A. H. Compton v roce 1923 zjistil, že rentgenové paprsky odražené od povrchu grafitu mění svoji vlnovou délku. Podle klasických představ by vlny měly rozkmitat povrchové elektrony a ty generovat vlnu se stejnou frekvencí. Vysvětlení: Fotony se opět chovají jako částice, srážejí se s elektrony a při srážce ztrácí část energie, a proto mění svou vlnovou délku.

Ohyb elektronů:

Fotoelektrický jev ukázal, že vlnění se může chovat v určitých situacích jako částice. Naopak, někdy se částice chovají jako vlny. Vlnobalíček nesený vlnou čp... (jistá křivost čp vnořena do jiné jisté křivosti čp) Například svazek elektronů procházející štěrbinou nebo dvoušěrbinou po dopadu na stínítko vytvoří typický ohybový obrazec. Nemůžeme předem říci, kam který elektron dopadne, ale při velkém množství elektronů můžeme určit pravděpodobnosti dopadu do konkrétního místa na stínítku. Vzniklý ohybový obrazec je tedy typickým statistickým jevem.

Dnes jsou vlnové vlastnosti elektronů využívány například v elektronových mikroskopech. Elektrony mají výrazně kratší



vlnovou délku než viditelné světlo a proto je rozlišovací schopnost elektronového mikroskopu podstatně vyšší než optického. Poprvé byly vlnové vlastnosti elektronu pozorovány C. J. Davissonem a L. H. Germerem v roce 1927. Zkoumali odraz elektronů od povrchu niklu. Po vyžhání niklu došlo k rekrystalizaci a odražené elektrony začaly vykazovat na přesných velkých krystalech ohybový obrazec.

Poznámka: Částice popisujeme čtveřicí veličin (E , \mathbf{p}). Definice energie E a hybnosti \mathbf{p} souvisí se symetriemi při posunutí v čase a v prostoru (teorém Noetherové). Vlnění popisujeme čtveřicí veličin (ω , \mathbf{k}). Úhlová frekvence ω je definována jako změna fáze vlnění s časem $\omega = \partial\phi / \partial t$ a vlnový vektor \mathbf{k} je změna fáze vlnění s prostorovými souřadnicemi $\mathbf{k} = \partial\phi / \partial\mathbf{x}$. Při periodickém ději s konstantní periodou T v čase a λ v prostoru (vlnová délka) lze psát $\omega = 2\pi / T$, $k = 2\pi / \lambda$. Louis de Broglie vyslovil hypotézu, že objekty mikrosvěta se chovají jako vlny i jako částice (dualismus vln a částic).

Převodní vztah má tvar:

$$\mathbf{p} = \eta \mathbf{k} \quad (2.2)$$

$$E = \eta \omega,$$

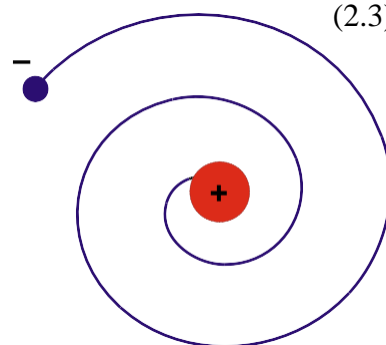
Často nás zajímá vlnová délka vlnění odpovídající konkrétní částici, například elektronu v elektronovém mikroskopu. Ze vztahu (2.2) máme $mv = 2\pi\eta/\lambda$ a tedy

$$\lambda = \frac{2\pi\eta}{mv} . \quad (2.3)$$

Existence atomu:

Podle klasického planetárního modelu atomu obíhají záporně nabitě elektrony kolem kladně nabitého jádra tak, jako ve Sluneční soustavě obíhají planety kolem Slunce. Odstředivá síla je vyrovnána přitažlivou Coulombovou silou.

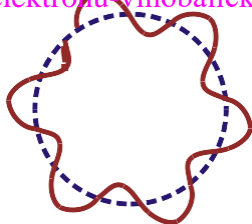
Mezi gravitačními a elektromagnetickými jevy je ale podstatný rozdíl. Z Maxwellovy teorie elektromagnetického pole plyne, že každá nabitá částice, která se pohybuje se zrychlením, vyzařuje elektromagnetické vlnění a ztrácí tak



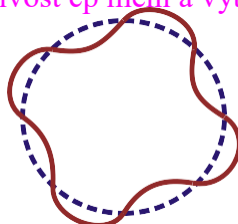
energii. Při kruhovém pohybu elektronu kolem jádra se mění směr rychlosti, zrychlení dv/dt je nenulové (míří do centra atomu, jde o dostředivé zrychlení) a elektron ztrácí energii zářením. Pohybuje se po spirále, až dopadne na jádro atomu. Tento proces trvá například pro vodík 10^{-11} s. Podle klasické teorie by tedy za velice krátkou dobu neměly žádné atomy existovat!! Na tento paradox upozornil poprvé dánský fyzik Niels Bohr.

Niels Bohr vytvořil tzv. *Bohrův model atomu* na základě tří umělých postulátů, které přidal ke klasické teorii:

- 1) elektrony se pohybují jen po tzv. *stacionárních drahách* – tj. po takových drahách, ve kterých je odpovídající de Broglieho vlnová délka ze vztahu (2.3) „namotána“ na oběžnou dráhu tj. obvod dráhy je n -násobkem vlnové délky. **Namotání souvisí s tvarem vlnobalíčku – elektronu, tj. vlnobalíčku s neměnným tvarem, v součinnosti s proměnlivým/prtoměnným tvarem křivosti lokálního časoprostoru v atomu, v němž elektron „plave“... Při přeskočení elektronu vlnobalíčku se tato křivost čp mění a vytvoří se také nový vlnobalíček – foton.**



Tato dráha není možná



Tato dráha je možná

$$2\pi r_n = n\lambda \quad ; \quad \lambda = \frac{2\pi\eta}{mv_n} .$$

Index n čísluje možné stavy elektronu v atomu (r_n možný poloměr dráhy, v_n rychlost na n -té dráze, E_n odpovídající energie) podle počtu vlnových délek elektronu na jeho oběžné dráze.

- 2) na stacionární dráze elektron nezáří.
- 3) při přeskočení elektronu mezi dvěma stacionárními hladinami dojde k vyzáření fotonu o energii odpovídající rozdílu energií těchto hladin.

Tento jednoduchý Bohrův model atomu není řešením výše uvedeného paradoxu, jde spíše o postulování nebo konstatování experimentálně známých skutečností. Navíc je tento model aplikovatelný **jen na nejjednodušší atomy** s jediným elektronem v obalu (H, He⁺). **Složitější atomy (potažmo molekuly) mají „propletené“ vlnobalíčky elementárních částic...** Tento model ale poprvé správně určil hladiny energie elektronu v atomu vodíku a vysvětlil spektrum atomu vodíku.

Heisenbergovy relace neurčitosti:

Při měření polohy a hybnosti objektu mikrosvěta budou nepřesnosti měření Δx , Δp splňovat relaci (přes k se nesčítá)

$$\Delta x_k \Delta p_k \geq \frac{\eta}{2} \quad ; \quad k = 1, 2, 3 \quad . \quad (2.4)$$

Čím přesněji určíme polohu objektu, tím méně přesně určíme jeho hybnost a naopak. Samotný akt měření ovlivňuje náš objekt, ale relace (2.4) je splněna i tehdy, neprovedeme-li měření vůbec.

$\frac{m^2 \cdot c^4}{c^2} = \frac{m^2 \cdot v^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4}{A^2 + B^2} \quad \Delta t^2 / t^2 \quad (02^*)$

Pythagorova věta o energii $E^2 =$

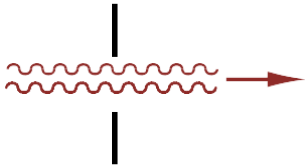
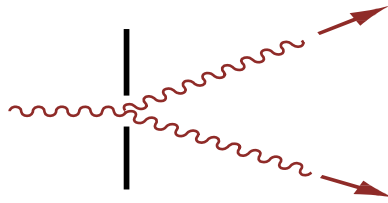
$$p^2 \cdot c^2 + m_0^2 \cdot c^4 = m^2 \cdot v^2 \cdot x_c^2 = m_0^2 \cdot c^2 \cdot t_c^2 \cdot t_c / t_v \quad (03^*)$$

A protože (02*) je pravoúhlým trojúhelníkem **rovnoramenným**, pak lze napsat $A = B$, tj. (03*), čímž vznikne Heisenbergův princip neurčitosti, ale „principiálně“ už opravený o činitele $\Delta t / t$

Jde o **principiální** hranici danou přírodou, za kterou nelze nahlédnout. ? **Lze uvažovat : o „novém Heisenberkovi !!**

Například obyčejný ohyb světla na štěrbině lze chápat jako důsledek relací neurčitosti pro fotony. Průchod fotonů štěrbinou není nic jiného než pokus o určení jejich polohy y s přesností Δy (velikost štěrbinou). Fotony, které prošly štěrbinou, určitě měly v okamžiku průchodu souřadnici y rovnou souřadnici y štěrbinou. Zmenšíme-li šířku štěrbinou Δy , zvýšíme přesnost měření y ; podle relací (2.4) se ale zvýší nepřesnost Δp_y určení odpovídající komponenty hybnosti. Výsledkem je známý ohybový jev – fotony za štěrbinou vyletují s danou pravděpodobností do různých směrů se střední kvadratickou fluktuací hybnosti Δp_y danou Heisenbergovými relacemi neurčitosti.

→ Heisenbergův princip neurčitosti, se musí opravit o činitele $\Delta t / t$



Výčet experimentálních faktů, které jsme uvedli výše, není zdaleka úplný. Všechny ale přispěly ke zrodu kvantové teorie, popisující pro nás nezvyklý svět atomů a elementárních částic. Podejme nyní stručný přehled jejího vývoje. V roce 1925 formuloval Werner Heisenberg ve svých 25 letech *maticovou mechaniku* – každé dynamické proměnné přiřadil čtvercovou matici (zpravidla nekonečnou), jejíž vlastní čísla byly měřitelné hodnoty příslušné veličiny. Šlo o teorii pramenící z vynikající intuice, na základě které bylo možné určit například energetická spektra různých atomů (nejen vodíku).

V roce 1926 Erwin Schrödinger formuloval *vlnovou kvantovou mechaniku*. Řešením rovnice

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + V \right] \psi = E \psi \quad (2.5)$$

$$\lfloor 2m \rfloor$$

pro vlnovou funkci ψ bylo opět možné určit hodnoty energie E pro objekt v potenciálním poli $V(x, y, z)$. Obě konstrukce – Heisenbergova i Schrödingerova – poskytovaly shodné výsledky. Spíše než o ucelenou teorii šlo v té době o **návod, jak určit energetické spektrum**.

*Obecnou konstrukci kvantové teorie na Hilbertových prostorech provedl P. A. M. Dirac. Ukázalo se, že Heisenbergova a Schrödingerova mechanika se liší jen jinou volbou příslušného Hilbertova prostoru. Nesmírně složitá matematika, vzešla jen a jen a jen v důsledku toho, že pozorované objekty ve Vesmíru jsou jednou v „normálním měřítku“, jindy v makroměřítku v moři galaxií, a jednou v mikroměřítku gluonů, elektronů, fotonů, kvarků..., Jen měřítko vše mění... **jen velikost intervalu odlišuje makrovesmír od mikrovesmíru a aby to živý tvor pozemský předvedl, tak potřebuje strašně moc těžké matematiky...(!) ...jen kvůli změně velikosti?????!!!!!!???***

Až doposud byla budována nerelativistická kvantová teorie. Zobecnění na relativistický případ provedli Klein a Gordon pro **spin částice $s = 0$** a Dirac pro **spin částice $s = 1/2$** (Kleinova-Gordonova rovnice, Diracova rovnice). S *relativistickou kvantovou teorií* byla **objasněna podstata spinu**, Dirac předpověděl existenci pozitronu, ale především byl postaven základ pro vybudování *kvantové elektrodynamiky* (Dirac – 1949). Odsud byl již jen krůček ke vzniku *kvantové teorie elektromagnetického pole* (Dirac, Feynman), ve které dochází i ke kvantování samotného elektromagnetického pole (tzv. druhé kvantování). Výsledky kvantové teorie pole lze přehledně zapisovat pomocí tzv. Feynmanových diagramů. *Nesmírně složitá matematika, která vzešla jen a jen a jen v důsledku toho, že pozorované objekty jsou jednou v „normálním měřítku“ jindy v makroměřítku hvězd galaxií a jednou v mikroměřítku gluonů, elektronů, fotonů, kvarků..., jen měřítko vše mění*

Na základě různých symetrií v přírodě se od 60. let bouřlivě vyvíjí *kalibrační teorie*, například *Weinbergova-Salamova teorie elektroslabé interakce*, která sjednocuje teoretický pohled na interakci elektromagnetickou a slabou, rozvíjí se *kvantová chromodynamika* – teorie silné interakce, teorie *GUT* sjednocující elektroslabou a silnou interakci a probíhají intenzivní pokusy o formulaci Einsteinových-Diracových rovnic supersymetrických teorií *SUSY* pokoušejících se o jednotný popis všech čtyř interakcí. Lidstvo stále více poznává svět elementárních částic a jeho zákonitosti.

Následující kapitolu budeme věnovat matematice, kterou je třeba znát pro pochopení kvantové teorie. „kvantování“ je tu výrazem „snímku“ časoprostoru na mikroúrovni, kde je pěnivý časoprostor a v něm vlnobalíčky. Když pěnu proříznete a na průřez-průmětnu promítnete, uvidíte „zhuštění“ a „zředění“...tedy 0 a 1...uvidíte „nic“ a „něco“ (podobně jak ta mapa reliktního záření → zředění a zhuštění), prostě sínusovka se v pootočené rovině promítá do přímky, na níž jsou úsečky „zhuštěné“ a „zředěné“ a to se střídá...; Řez je plátno-průmětna, kde pozorujeme „kvanta a mezery“....atd. Vlastní stavbou **kvantové teorie což je jen a jen „stavba“ né reality, ale matematiky** se budeme zabývat až v kapitole 2.3 a následujících.

Dál můj komentář a názor končí. Už se nemůžu vyjadřovat k partiím níže, tj. k matematice, protože jí neumím.
JN 21.10.2014