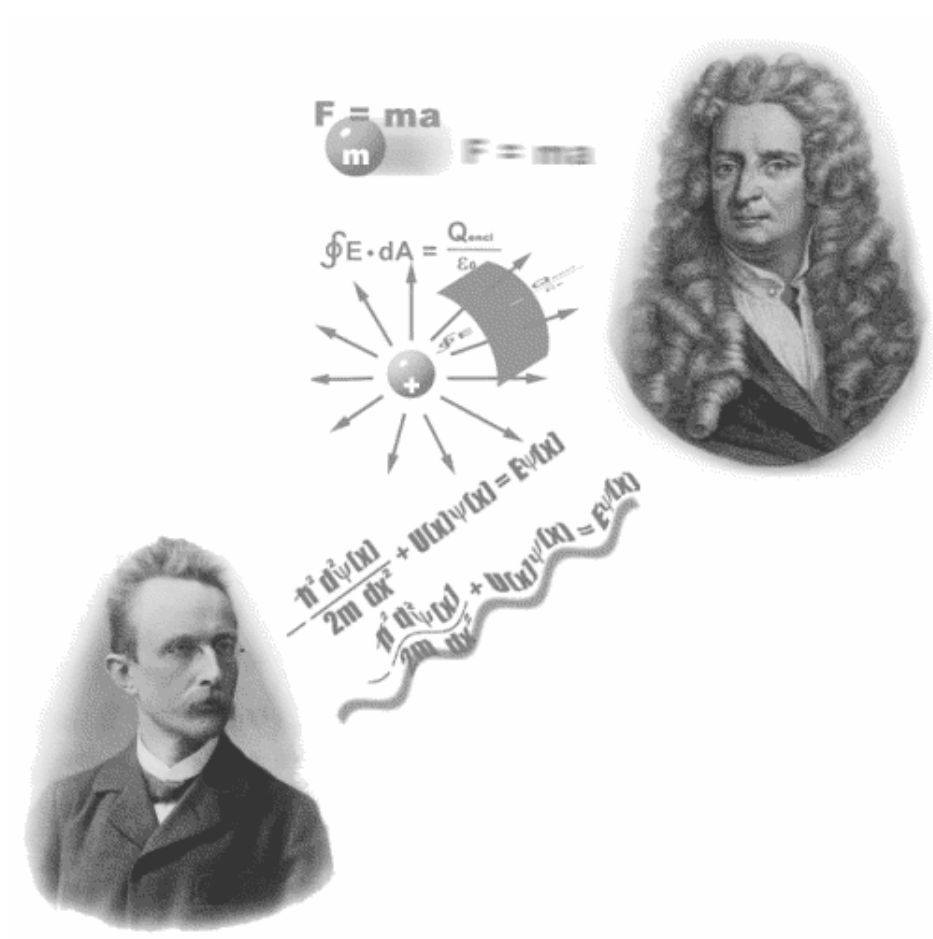


Jak chápu rozdíl mezi klasickou a kvantovou fyzikou

Václav Krajčák

27. srpna 2004



Rozdílem dvou objektů, nebo pojmů se většinou myslí objekt, vlastnost, nebo výčet vlastností odražený od společného základu. V případě kvantové a klasické fyziky je tímto základem "*Fyzikální model*". Fyzikální model je soubor pravidel pro *popis* vlastností a událostí reálného světa. Už ve slově "událost" můžete vidět jistou nejednoznačnost. Existuje přece mnoho událostí. Kulturní událost, tragická událost, události obrovských rozměru nebo bezvýznamné události každodenního života. Některé události se nás přímo dotýkají, jiné jdou takřkajíc "mimo nás". Které z těchto událostí popisuje fyzikální model? Které a jak popisuje kvantová či klasická fyzika?

Než se začnu pitvat v detailech, abych odpověděl na předchozí otázku, nejprve bych rád nastínil o jaký "popis" se vlastně jedná. V první řadě jde o popis momentálního stavu světa a o popis změny(=událost) tohoto stavu do stavu nového. Užitečnost takového popisu je zřejmá. Kromě obrovského uspokojení fyzikupoznávacího člověka nad tím, že doopravdy rozumí dějům okolo sebe, znalost správného "modelu světa" nám umožní extrapolovat přesnou budoucnost, ba dokonce vyloučit dávno zapomenutou minulost. Díky tomu budeme schopni vyvinout účinnější nástroje, s kterými abychom mohli svoji budoucnost lépe ovlivňovat.

Klasická mechanika má dlouhou, několikasetletou tradici. Popisuje přesně ten svět, jaký známe z běžného života. Jablka padající ze stromu, kulka svištěcí vzduchem, automobily ženoucí se po závodním okruhu, to jsou objekty a události v oblasti zájmu klasické fyziky. Typické předpovědi této teorie jsou například: výsledky dostihového závodu, doba po kterou se most přes řeku nezboří, činnost elektrických obvodů, výkon parního stroje, a všechny další děje, na nichž stojí většina technických objevů předchozích staletí. Charakteristický je především způsob, jakým formulace zákonů klasické fyziky vznikaly. Z uvedených příkladů je okamžitě vidět, že experimentátorem na poli klasické fyziky je každý z nás, dnes a denně. Nosíme v hlavě malého klasického fyzika, který nám napovídá výsledky všech fyzikálních dějů s jimiž se můžeme setkat. "Nejez tu polevku hned, počkej chvíli než vychladne, nebo s ní zamychej", "Nepřechazej silnici teď. To auto jede moc rychle, nestihl bys to". Tak to funguje podle zkušenosti s měnící se přesností už dlouho snad jako součást pravěkého zvířecího instinktu. Až rána jablkem do hlavy přivedla Issaca Newtona ¹, slavného fyzika, který je považován za hlavního představitele klasické fyziky², aby formálně a matematicky formuloval nejintuitivnější a nejzákladnější část klasické fyziky, klasickou mechaniku. Newtonovy pohybové zákony³ se dají experimentálně ověřit na té nejjednodušší aparatuře, jakou lze pro fyzikální experimenty použít.

Na rozdíl od klasické fyziky, kvantový fyzikální model světa byl, vzhledem k tomu jakou má povahu, objeven mnohem později. Rána do hlavy jednoho fyzika stačila k vybudování klasické mechaniky, ale k stavbě kvantové teorie bylo potřeba mnohem víc. Od základů musela být každá stavební část pracně objevena, myšlenkově vyhrabána z nejhlubších propastí hmoty a odzkoušena při těch nejpodivnějších experimentech. Pozorné sledování okolního světa nahradilo hluboké rozjímání, hledání souvislostí a přesložitě matematické výpočty. Kvantová teorie totiž oproti klasické fyzice zaostřuje svůj pohled za hranice zraku všech smrtelníků, na úroveň mikrosvěta. Mikrosvět je svět elementárních částic, ze kterých se skládá každá hmota ve vesmíru podle známého schématu. Hmota se skládá z molekul, molekuly z atomu, atomy z "elementárních" částic protonů, neutronů a elektronů.

¹sympatický chlapík s kudrnatou parukou v koláži na přední straně

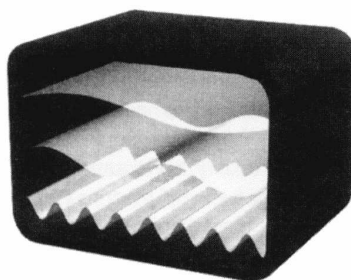
²podle něho se často klasická fyzika označuje jako Newtonovská

³Zákon akce a reakce, Zákon síly, Zákon zachování pohybu

Kvantová fyzika přišla s dalším ještě jemnějším dělením hmoty a navíc předpověděla a pomohla nalézt částice, které se v našem vesmíru běžně vyskytují. Objevila že dělením protonu a neutronu dostáváme takzvané kvarky. Kvarků je vícero druhů a páni fyzikové je odlišují velice zvláštním názvoslovím.

Po tomto odhalení se nám může na chvíli zdát, že srovnání klasické fyziky a objektů jejího zájmu s kvantovou teorií a částicemi mikrosvěta je srovnáváním hrušek s jablky. Představme si trs hroznového vína. Předpovědi fyzikálních dějů podle Klasické fyziky se budou určitě shodovat se skutečností, bez zjizitelných odchylek. Opak je pravdou v případě, že bychom chtěli použít stejné zákony na trs elementárních částic. Právě proto bylo nutné použít odlišné zákony mechaniky - kvantové mechaniky pro popis chování těchto částic. Jak bylo řečeno, veškerá hmota se skládá z elementárních částic, pro které platí pravidla kvantové mechaniky. I makroskopický objekt, jako je auto, tvoří shluk elementárních částic, proto i na něj se dají aplikovat zákony kvantové mechaniky. Vyčíslený rozdíl od předpovědi klasické fyziky bude v tomto případě nezjistitelný. Přesto však odpověď daná kvantovou mechanikou bude považována za přesnější. Nyní už vidíme, že je možné srovnávat kvalitativně kvantovou a klasickou fyziku.

Jak byl vlastně objeven mikrosvět se svými odlišnými zákonitostmi? Co přivedlo fyziky na cestu zkoumání něčeho, co nemůže být viděno? Zhruba před sto lety, v období na přelomu 19. a 20. století fyzikové na celém světě jakoby došli na konec cesty. Myslelo se tehdy, že už je všechna fyzika světa objevena a popsána, až na pár drobných teoretických problémů. Potom co i ty někdo vyřeší, nebude už prakticky nic na práci. Jedním z takových teoretických úkolů byl problém záření "absolutně černého tělesa". Absolutně černé těleso je objekt, ze kterého se nešíří do okolního prostoru žádný druh energie. Ani teplo, ani světlo z něho neunikne. Je vidět, že s ničím podobným se žádný člověk normálně nesetká. Jedná se skutečně jen o teoretický příklad, kde se fyzik ptá, "co by, kdyby..". Řešením tohoto problému se zabýval německý fyzik Max Planck⁴. Problém ho zřejmě upoutal, protože jeho popisem pomocí známých zákonů klasické fyziky vycházely absurdní nekonečné hodnoty energie. Výsledkem jeho výzkumu byl jev dávající kvantové teorii jméno. Šlo o *kvantování energie*. Objevil, že množství energie přenášené elektromagnetickou vlnou je závislé na její frekvenci⁵ a také, že nemůže být libovolně malé. Nejmenší množství přenášené energie je dáno tzv. *Planckovou konstantou* $\hbar = 6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$. Od této hodnoty se odvozují různé hranice pro velikosti hmoty a energie, které tvoří rozdíl mezi mikrosvětem a makrosvětem. Dalo by se říct, že nuda přiměla fyzika k práci na tak obtížném a abstraktním úkolu jako je kvantová fyzika.

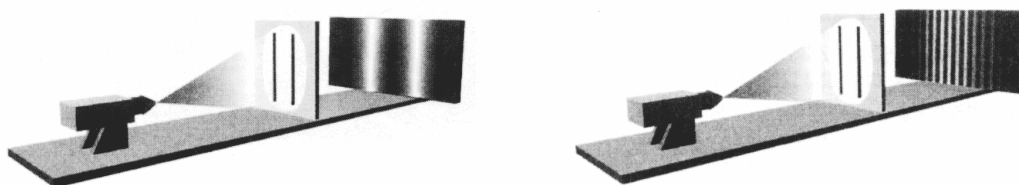


obr. č.1: Absolutně černé těleso. Uvnitř jsou povoleny jen vlny, které vyplní prostor celým násobkem poloviny svých vlnových délek.

⁴muž s knírkem v koláži na přední straně

⁵vztahem $E = \hbar f$

Zkoumat mikrosvět je jako vypravit se do říše za zrcadlem. Všechno je tu jiné a jakakoliv intuice a selský rozum nás zavedou do slepé uličky. Představme si například, jaký stín bude vrhat překážka s jedním otvorem umístěná mezi světelný zdroj a stínítko. Na stínítku se objeví jedna světelná stopa s rozostřenými okraji po průchodu světla skrz šterbinu. Co by se stalo, kdybychom vyvrtali ve stínítku druhý otvor. Intuice a klasická fyzika praví, že na stínítku by byly dvě stopy. Dá se však pozorovat jiná skutečnost, takzvané interferenční proužky. Jejich zjištění je ve zporu s představou o přímočarém šíření světla. Do jisté doby na počátku 20.století se věřilo, že světlo má částicový charakter, šíří se prostorem přímočaře po drahách, jako malé broky vystřelené ze vzduchovky. Hovořit o interferencích u takových objektů je holý nesmysl. Přesto interference vznikají. Vlastnost elektromagnetického vlnění(světla), jež byla takto objevena se nazývá *vlnově částicový dualismus*. Později ji francouzský fyzik Louis de Broglie zobecnil na všechny částice mikrosvěta. Experiment se šterbinou byl tak plodný, že vedl později německého teoretického fyzika Karla Heisenberga k dalšímu podstatnému objevu a zároveň exotické záhadě mikrosvěta *principu neurčitosti*. Tento princip říká, že nemůžeme určit přesnou polohu, kde se částice nachází, ale že pouze známe pravděpodobnost, s kterou se na daném místě může částice vyskytnout. Princip neurčitosti je opravdová magie v kvantové fyzice. Například o jedné částici nám může povědět, že se nejspíš vyskytuje někde, přesto je klidně možné, ale velice málo pravděpodobné, že se nachází miliony kilometrů daleko. Když vystřelujeme částice proti neprostupné překážce můžeme se stát svědky kouzelnického triku, který se nazývá *tunelový jev*. Při tomto jevu se může stát a často se stává, že částice projde skrz překážku. Jak je možné, že se to děje? Takové už jsou divy světa za hranicí \hbar - Planckovy konstanty. Kdyby byla tato konstanta vyšší, podobné jevy bychom pocítili i na vlastní kůži. Neustále by nám něco padalo z rukou, propadali bychom podlahou, nebo procházeli zdí jako v legendě o Bíle paní.

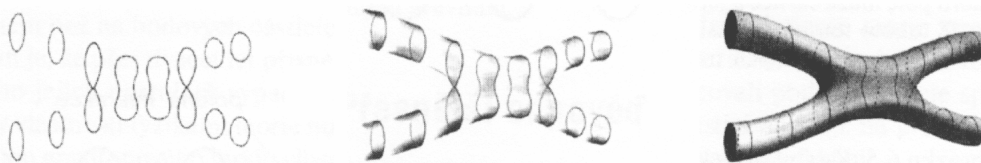


obr. č.2: Naivně očekávaný výsledek(vlevo) experimentu. Skutečný výsledek s interferenčními jevy(vpravo).

Sám velký Albert Einstein se nikdy doopravdy nesmířil s principem neurčitosti. Právě na adresu principu neurčitosti patří slavný Einsteinuv výrok: "Bůh nehraje s vesmírem v kostky". Ale společně s jeho obecnou relativitou tvoří kvantová teorie dva pilíře moderní fyziky. Úmyslně říkám dva, protože obě dvě teorie jsou sice naprosto genialní díla, zpřesňující závěry klasické fyziky, ale spolu navzájem jsou naprosto neslučitelné. Obecná relativita hovoří o *hladkém* zakřivení prostoročasu okolo hmoty a kvantová teorie zase o mikropickém hemžení elementárních částic. Spojení těchto dvou vlastností má za následek kruté potrhání prostoročasu na mikroskopických vzdálenostech a vzniku takzvané *kvantové pěny*, májící daleko k hladkému zakřivení prostoru.

Kvantová fyzika je brilantní a naprosto revoluční model. Její objevení a studium

zaměstnávalo fyziky většinu 20. století. Vedla k revizi dosavadní představy o silách, které hýbou naším vesmírem a odhalila nové možnosti ve fyzice a vědeckém výzkumu vůbec. Díky práci na kvantové teorii našli fyzikové nejtěžší úkol, nejzazší metu na hranici vědy, jejíž dosažení bude předmětem budoucího výzkumu a bádání. Tím cílem je *Teorie všeho*⁶. Zhruba v polovině 20.století bylo známo, že ve vesmíru působí celkem čtyři druhy sil⁷. Zjednodušeně řečeno Teorie všeho by měla vysvětlit, že tyto čtyři síly jsou projevem jednoho jediného jevu. Z předchozího odstavce plyne, že kvantová fyzika asi nebude tou dokonalou sjednocující teorií, ale je to rozhodně podstatný krok směrem k ní. Jedním zajímavým adeptem na trůn Teorie všeho je *Teorie strun*. Její hlavní myšlenkou je dát základ všem částicím mikrosvěta ve formě strunných smyček, včetně návrhu zprostředkovatelů výše zmíněné čtveřice sil a zároveň vyřešit problém konfliktu s obecnou relativitou. Mnoho drobných i větších problémů v teorii strun ale zatím není zcela uspokojivě vyřešeno. To je při nejmenším zárukou, že fyzikové mají na nadcházející desetiletí o práci postaráno.



obr č.3: *Typický náčrtek strunových vlnoploch modelující interakci-srážku částic.*
(struny jsou uzavřená kolečka na obrázku vlavo)

Rozdíl mezi klasickou fyzikou a kvantovou teorií je nejen rozdíl v pohledu na svět, ale i odlišnost ve způsobu výzkumu, nebo nročností experimentů. V klasické fyzice bylo nejprve pozorování, pak teorie a zobecnění. V kvantové fyzice je nejprve šílená myšlenka, podpořená matematickými výpočty. Následuje první zobecnění. Pak, je-li to možné, velice náročný experiment potvrzující danou teorii jen nepřímou a případně odkrýváje mnohé další otázky. Pokrok tak může být podniknut na čistě teoretické úrovni a teoretickými prostředky. Kvantová fyzika je dítětem právě takového způsobu výzkumu.

Od dob antických filozofů, prvních myslitelů a vědců, stoupáme výš a výš na věž poznání abychom viděli dál, větší kus světa kolem nás. Kvantová fyzika je pohadková krajina za sedmero horami a sedmero řekami a my jsme nyní tak vysoko, že vidíme zázraky, které se v té zemi odehrávají.

Reference

- [1] Stephen W. Hawking, *Stručná historie času*, Edice Kolumbus 1991.
- [2] Brian R. Green, *Elegantní vesmír*, Edice Kolumbus 2001
- [3] Ivan Štoll, *Fyzika mikrosvěta*, Prometheus 1999
- [4] The Official String Theory Web Site,
<http://superstringtheory.com>.

⁶TOE - Theory Of Everything

⁷gravitace, silná a slabá síla jaderná a elektromagnetická síla