

<http://dfens-cz.com/buh-nehraje-v-kostky/>

Bůh (ne)hraje v kostky! Ale Bůh si hraje „po Třesku“

s křivením dimenzí 3+3D čp. (...podle jen dvou-tří **zahajovacích** pravidel-zákonů, tak neuvěřitelně prostě a zajímavě, až rozběhl samovolné generování vějíře posloupností z klubíček-geonů-vlnobalíčků do konglomerátů..., až do neskutečných podob, přes atomy, molekuly, sloučeniny k DNA a člověku.)

OC

27.10.2012

Ostatní



Než se dostanu k tomu, abych napsal nějaké alespoň trochu soudné pokračování [ostroštelby](#) (děkuji touto formou všem za zájem a milá slova!), zalétněme na chvilinku do zcela odlišného rybníka a podívejme se na to, jak podivně a přitom zároveň nesmírně zajímavě funguje ten náš svět: řekneme si něco málo o těch nejzákladnějších základech kvantové elektrodynamiky.

A tak jsem někdy do snídaně uvěřila třeba v šest nemožností!

[Bílá královna]

Nejprve je možná vhodné ztratit pár slov na téma „k čemu je to dobré?“ Upřímně řečeno, na úrovni, na níž se zde budeme pohybovat (a já upřímně přiznávám, že sám na žádnou vyšší nemám dostatečné znalosti), naprosto k ničemu :) Pro mnohé lidi je ale zábavné a potěšující poznávat principy „fungování světa“, a to i v oblastech, jež z praktického hlediska mají na běžný život dopad naprosto zanedbatelný. Nejde nám nyní o schopnost spočítat, jak bude fungovat motor nebo integrovaný obvod^[1]; jde nám o rozzářené oči a fascinované vydechnutí: „No páni, takže *takhle* to funguje! To jsou věci na tom světě.“

Víceméně odjakživa se vědci snažili hledat pokud možno co nejjednodušší pravidla, jimiž lze popsat chování různých věcí. Velkým pokrokem kdysi dávno bylo pochopení, že podle téhož jednoduchoučkého vzorečku funguje rumpál i pajcr. Jak postupovalo naše poznání světa dále a hlouběji, dařilo se do jediného přehledného systému spojovat čím dál tím více jevů; nelze se nezmínit o jednom z nejvýznamnějších kroků spojeném především se jménem Jamese Clerka Maxwella, jímž bylo elegantní spojení elektřiny a magnetismu, světla a jiných záření — včetně radiových „vln“ — do jediné elegantní teorie, jež přehledně (a přesně a správně) popsala vše, s čím se v obou těchto oblastech experimentátoři tehdy setkávali.

Dnes jsme ještě mnohem dále: už asi sto let máme teorii, jež popisuje „téměř celý svět“ — její součástí je chování záření i chování hmoty a jejich vzájemná interakce; pouze gravitace a jaderné reakce se jí vymykají. Sto let úspěšných experimentů nám dává právo věřit správnosti^[2] této teorie, již říkáme QED — kvantová elektrodynamika. Kromě toho, že patří mezi nejdůvěryhodnější — tedy nejdůkladněji prověřené, má QED ještě jedno zvláštní kouzlo: jde totiž patrně o nejbáznivější a nejméně intuitivní teorii ze všech, jež jsou široce přijímány. Třeba taková teorie relativity (jejíž neintuitivní a bláznivé výsledky skvěle popsal pan Redguy [zde](#) a [zde](#)) je proti QED *relativně* velmi přízemním a konservativním pohledem na svět; ostatně sám její tvůrce, Albert Einstein, nikdy nedokázal „kvantovku“ plně přijmout (a titulěk tohoto článku je parafrází jeho oblíbené výhrady).

Pojďme se tedy nechat ohromit — a pobavit — tím, jak bláznivě a nepředpověditelně náš svět ve skutečnosti^[2] funguje!

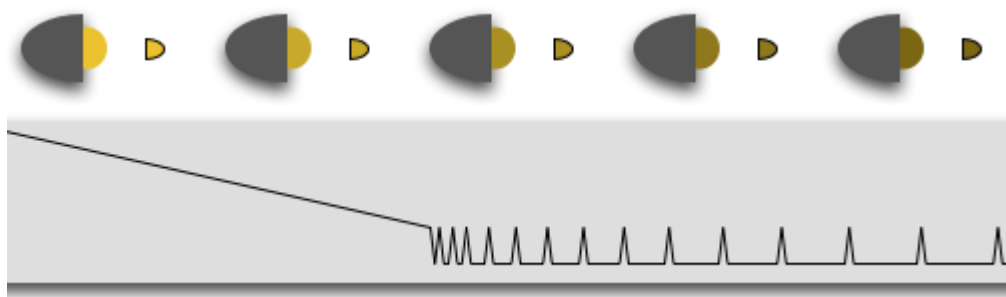
Co je to světlo

Začneme tím nejjednodušším — světlem.

Dlouhá léta se lidé snažili pochopit, co to vlastně světlo je. Dnes víme^[2], že jde o spoustu částic, jež nazýváme „fotony“; tyto částice vznikají v tom, co nazýváme světelnými zdroji, šíří se prostorem, a přitom interagují s hmotou. Tyto interakce kupříkladu mohou vypadat jako „odraz fotonu od povrchu auta“ nebo „detekce fotonu v oku“ — oko (a mozek) při této detekci vyhodnotí stav zmíněného fotonu (a řady

jeho kamarádů), a my tomu pak říkáme „viděli jsme, že auto jede k nám a je červené.“

Stojí za to si ukázat, proč jsme přesvědčeni o tom, že světlo je representováno právě fotony a ne nějak jinak. Stačí k tomu zdroj hodně slabého světla, a nějaké „oko“ o něco citlivější, než to lidské; „oko“, jež dokáže měřit intenzitu světla, které naň dopadá, i pro tak slabé světlo, které my sami nevnímáme (už dávno umíme taková zařízení bez problémů vyrábět). Zde se totiž začne dít první podivnost: jak postupně na zdroji snižujeme intenzitu, detektor nám nejprve podle očekávání hlásí také čím dál tím méně světla dopadajícího... ale pak najednou začne místo stálého, čím dále slabšího světla hlásit jednotlivé záblesky o neměnné síle! Pokud zdroj dále zeslabujeme, intenzita záblesků se nemění; jen se prodlužují intervaly mezi nimi^[3] — asi nějak takto:



V horní části obrázku je v několika krocích naznačeno, jak postupně tlumíme naši lampičku, a jak tedy postupně „tmavne“ i detektor, umístěný vpravo od ní (detektor vypadá trochu jako písmeno D, nic lepšího, jak jej nakreslit, mne nenapadlo). V dolní části obrázku pak vidíme, jak by přibližně a s trochou zde nepodstatného zjednodušení vypadal záznam intenzity světla, který by nám takový detektor mohl nakreslit: nejprve je světla čím dál tím méně, ale pak se nám najednou světlo „rozpadne“ na řadu stejně silných záblesků, u nichž se mění pouze četnost.

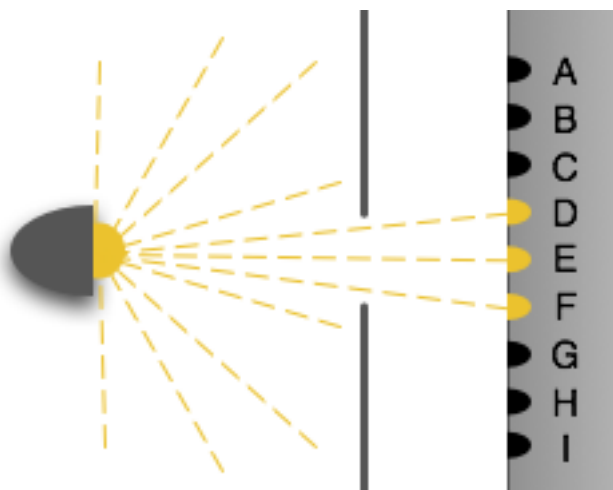
To vede celkem přímou cestou k představě, že světlo je něco jako písek: dokud je toho hodně, vidíme to jako větší nebo menší hromadu. Když to ale sypeme jen tenoulinkým proudem, začneme vnímat jen jednotlivá zrníčka, a čím je „méně písku“, tím jsou od sebe dál — ale všechna jsou pořád stejná, sama se nijak nezmenšují^[3]. Pořád přitom platí, že „písek“ je složen ze zrníček, ať jich máme jen pár, nebo ať je toho celá Sahara.

Stojí možná za zmínku, že takhle nějak si světlo představoval sir Isaac Newton; ten pro světelná zrníčka užíval pojmu „korpuskule“. Před časem už se skoro zdálo, že jej Maxwell usvědčil z omylu — ale kdepak! Starý Isaac měl nakonec přece jenom pravdu.

Řada dalších pokusů tuto představu potvrdila a teorii o tom, že světlo se skládá ze „zrníček“ — tedy fotonů — posílila.

Fotony se nám chovají divně

Jiné pokusy se ale s představou fotonu jako „zrníčka světla“, které si spolu s mnoha ostatními vyletí ze zdroje a dopadne na detektor, zdají být v nepříjemném rozporu — nebo přinejmenším naznačují, že nám ty fotony poletují nějakým velmi podivným způsobem. Jeden z nejjednodušších pokusů by mohl vypadat třeba tak, že namíříme lampu na stěnu a mezi ně dáme nějaké neprůhledné stínítko; uděláme v něm malou díрку. Na stěnu umístíme několik detektorů, jež dokáží rozeznat i ten nejslabší záblesk světla. Celé by to mohlo vypadat asi nějak takhle:

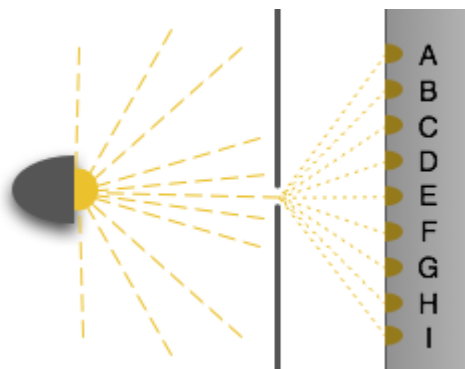


Dokud je to celé dost velké — hlavně ona dírka —, vše funguje tak, jak bychom intuitivně čekali. Představíme-li si, že fotony ze zdroje létají všemi směry, stínítkem samozřejmě neproletí, dírkou ano, a létají rovně — což je představa celkem přirozená a logická —, výsledek tomu bude odpovídat: detektory D, E a F budou hlásit dopady fotonů v intenzitě, odpovídající síle zdroje a velikosti dírky ve stínítku; ostatní nikoli. Pokud bude světla dost, uvidíme na stěně zhruba mezi D a F světelný terč, jinde za stínítkem bude tma^[4].

Zkusme nyní díрку ve stínítku postupně zmenšovat, abychom světlo zaostřili přesně a pouze na detektor E. Nejprve půjde vše podle předpokladů — světelný terč se bude zmenšovat, detektory D a F se odmlčí... a pak se najednou stane něco hrozně divného: místo dalšího zmenšování se nám v určitou chvíli světelný terč „rozplizne“ přes celou stěnu (a bude samozřejmě celý mnohem slabší)! Jinými slovy, fotony nám začnou hlásit úplně všechny detektory stejně. Co se to děje?

Bůh hraje v kostky

Docela smysluplná představa by byla, že musí-li se foton procpat hodně úzkou dírkou, nějak mu to ublíží, a on se rozpadne na spoustu „mnohem slabších“ (ať už by to znamenalo cokoli) fotonů, jež se rozletí na všechny strany. Pak by dávalo smysl, že světlo hlásí detektory všechny, ale mnohem slabší, než jaké minule hlásily detektory D, E a F — asi nějak takto:



Jenže se ukazuje, že tak tomu ve skutečnosti není. Snadno to uvidíme, když opět zmenšíme sílu našeho zdroje tak, aby fotony létaly po jednom, jako v prvním pokusu: detektory nám v tomto případě *nebudou* hlásit všechny zároveň slabší záblesky. Namísto toho v jednu chvíli vždy pouze jediný z nich ohlásí záblesk — a ten má vždy stejnou intenzitu, jakou při slabém světle sledujeme od samého začátku, už od pokusu, znázorněného na prvním obrázku výše. Detektory se ale náhodně střídají, tak, že každý z nich po nějaké době ohlásí zhruba stejné množství záblesků.

Z tečkovaných čar na minulém obrázku — těch mezi otvorem a stěnou — tedy v jednom okamžiku „platí jen jedna“. Ale střídají se. Ať se na to díváme z jakékoli strany, musíme dospět k jedinému závěru: je-li dírka hodně malá, fotony v ní jaksi ztratí směr, a dále letí náhodně.

Moment. Cože? *Náhodně?*

To je ale přece naprosto zásadní problém, takhle nám fyzika nedává smysl! Zvykli jsme si, že experimenty můžeme opakovat, a pokud si dáme práci s tím, aby výchozí podmínky byly stejné, dostaneme vždy stejný výsledek. Považujeme za samozřejmé, že i náhody, s nimiž se běžně setkáváme, jsou jen důsledkem nepřesností, které můžeme odstranit: věříme, že kdyby třeba hrací kostkou házel přesný stroj pokaždé stejně, pokaždé by mu padlo stejné číslo. Tady jsme ale narazili na situaci, v níž tomu tak prostě není: sestavíme-li pokus tak, aby zdroj poslal do dírky ve stínítku jen jediný foton, pak místo, kam na stěnu za stínítkem foton dopadne, je naprosto náhodné. Při každém pokusu bude toto místo jiné, a ať děláme co děláme, nedokážeme experiment sestavit tak, aby foton vždy létal stejně.

To jediné, nač se můžeme spolehnout, je to, že čím více pokusů uděláme, tím pravidelněji bude stěna osvětlena — ve velkém množství fotony, zdá se, nějaká pravidla dodržují; jednotlivý foton si ale dělá naprosto co se mu zachce. Je to trochu podobné tomu, jak se hrací kostka chová běžně při hře: hodíme-li jednou, může padnout zcela libovolné číslo; hodíme-li ale tisíckrát, můžeme se — není-li kostka falešná — spolehnout, že každé číslo padne asi tak stejně často, že nebude nijak zásadně víc jedniček než šestek (a ani naopak).

Takováto náhodnost a nejistota se ovšem fyzikům nelíbila; i řekli si: „To bude chyba někde v konkrétních detailech tohoto experimentu! Zkusíme sestavit jiný, ten nám ukáže, že fotony, potvory, si nelétají náhodně, ale přesně podle nějakých pravidel — a také pak z toho pochopíme, co nás tady zmátlo.“ Zkoušejí už to přes sto let, a výsledek všech, *bez jedné jediné výjimky naprosto všech* pokusů je týž: jednotlivé fotony se *skutečně* chovají naprosto náhodně a absolutně nepředpověditelně; dokážeme sice úspěšně statisticky předpovídat chování většiny ve velkém množství, ale chování jednoho fotonu nijak předem odhadnout nelze. Co horšího, jak ukazují další experimenty (jimiž se budeme zabývat ale až někdy jindy), takhle se nám chovají nejen fotony, ale i ostatní částice, z nichž se skládá hmota i záření — tedy vlastně úplně, úplně všechno.

Tohle je důležité, a proto si to zopakujeme a zdůrazníme: **naš svět je velmi zábavné místo, jakási obrovská ruleta, kde zhola nic nefunguje deterministicky přesně; naprosto vše je principiálně náhodné a ve všech detailech nepředpověditelné. Předpovědi fungují pouze statisticky, umíme říci „tak a tak často se stane to a to, tak a tak často něco jiného“; pokud bychom ale chtěli zkoumat, co se stane „vždy“ nebo co se nestane „nikdy“, máme smůlu: prostě to v našem světě nejde, nic jako „naprostá jistota“ v něm neexistuje.**

No řekněte — není to krása?

Než se vrátíme k naší lampě a stínítku, stojí za zmínku ještě jedna věc: náhodné chování fotonu se nám projevilo právě ve chvíli, kdy jsme jej chtěli přimět k tomu, aby letěl přesně po dané dráze. To je trochu jiný pohled (který s náhodností samozřejmě souvisí): nejenže náš svět je fundamentálně náhodný, ale také nemá rád dokonalá, striktní omezení. Pokusíme-li se přesně určit „to a to je přesně tehdy a tehdy tam a tam, má to rychlost tu a tu a směr ten a ten“, narazíme na nepřekonatelné problémy, zjistíme, že takové přesné určení prostě není možné. Ať sestavíme měřicí aparaturu, jež by nám takové výsledky měla dávat, jakkoli, fungovat nebude — přesné údaje z ní nedostaneme.

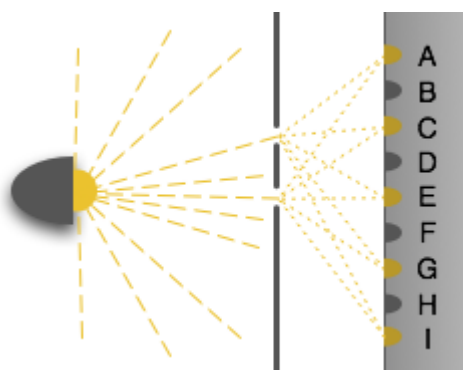
Tradiční pohled se to snaží vysvětlit např. tím, že kdykoli (dejme tomu) měříme polohu nějaké věci, musíme se jí dotknout měřidlem — ať už je to zednický metr nebo třeba laserový paprsek. Cože? Že se na věc můžeme jen podívat? Ale to je přece přesně totéž, jako ten laser: chceme-li se na něco podívat, musíme se toho „dotknout“ minimálně jedním fotonem. Tím dotykem ale měřenou věc posuneme, a číslo, které dostaneme, už je právě o ten posun šejdrem. Velikost posunu předem nijak odhadnout nelze, takže s přesným měřením máme smůlu.

Nevýhodou tradičního pohledu je to, že vede k představě, že ona věc přesnou polohu má, jen ji jaksi neumíme změřit. A třeba za pár let najdeme nějaký šikovnější způsob měření, kterým to přece jen půjde. Tak tomu ale podle všeho není^[2]; zdá se, že náš svět fundamentálně funguje tak, že v něm prostě naprosto přesná určení *neexistují* — a proto je ovšem také nemůžeme změřit, ať to zkusíme jakkoli.

Kdosi nám v tom dělá vlny!

Ještě daleko šílenější to celé začne být ve chvíli, kdy nás napadne, že bychom mohli množství světla opět zvýšit — ale nikoli tím, že bychom díрку ve stínítku zvětšili, nýbrž tím, že do něj propíchneme ještě jednu. Bude-li stejně malá, jako v minulém případě, pak by se dalo čekat, že se skrze ni světlo rozptýlí podobně — tedy že na každý z detektorů budou fotony dopadat pořád stejně často, a při témže zdroji to bude dvakrát více, než minule, že?

Ale kdež! Stane se něco naprosto nečekaného a divného. Třeba detektory A, C, E, G a I začnou hlásit fotony *čtyřikrát* častěji než minule; naopak detektory B, D, F a H, aby se to vyrovnalo, zůstanou potmě — asi nějak takto:



Také máte dojem, že si z nás tady někdo musí dělat legraci?

Uvědomme si, co se nám tady vlastně děje: v minulém případě některé z fotonů, jež proletěly prvou dírkou, pokračovaly směrem k detektorům B, D, F a H. Poté, co uděláme o kus dál druhou díрку, tak *přestanou* činit, a místo toho si to zamíří někam do okolí A, C, E, G a I. Copak to dává nějaký smysl? Jak může takový foton, který prolétá původní dírkou, „vědět“, že opodál existuje ještě jedna, aby podle toho upravil pravděpodobnosti toho, kam bude pokračovat?!?

Mimochodem, pokud bude světla více, uvidíme na stěně hezký obrazec — zhruba týž, který vidíme třeba na vodní hladině, když do ní spadnou dva kameny a vlny, jež to vyvolá, se vzájemně protínají a skládají. Právě v místech, odpovídajících vzájemnému vyrušení těchto vln, je „tma“; naopak tam, kde se vlny složí dohromady, bude „dvakrát více světla“. Konkrétní tvar tohoto obrazce — jinými slovy, to, které z našich detektorů budou na světle a které potmě — závisí (při témže světle a stejném umístění zdroje, stěny i stínítko) na vzájemné vzdálenosti otvorů.

Tato analogie (jež se projeví samozřejmě i v dlouhé řadě jiných pokusů) vedla mnohé fyziky k úvahám o tom, zda nakonec světlo není vlněním, podobným trochu té vodní hladině (či ještě spíše, podobným zvukovým vlnám třeba ve vzduchu). Pro řadu experimentů tento přístup vedl k excelentním výsledkům — je mezi nimi mj. právě již zmíněná Maxwellova teorie — a dodnes se ve školách učí cosi zmateného o „duální vlnově částicové podobě“. Skutečně; pokud by se nám šířily prostorem nějaké světelné vlny, pak by jejich vzájemné skládání (tzv. *interference*) krásně vysvětlilo, proč jsou některé detektory potmě a jiné mají světla dvojnásobek. Jenže... světlo prostě není vlnění, světlo jsou fotony.

K tomuto tvrzení máme v zásadě dva důvody: první je prostá úvaha — co by se tam tak asi leda mohlo vlnit? O ničem takovém nevíme, a teorie, snažící se zavést takové prostředí, vždy vedly k rozporu s realitou.

Druhý důvod bude zřejmý, pokud náš zdroj světla opět zeslabíme: znovu budeme pozorovat zhruba totéž, co v prvním pokusu, tedy od určité chvíle se intenzita záblesků na detektorech nebude snižovat, ale bude se snižovat pouze jejich počet. Podobně jako tomu bylo s jednou malinkou dírkou, pustíme-li tam jediný foton, nemůžeme předem říci, co provede, a kam na stěně dopadne; budou-li jich však miliardy a miliardy, uvidíme, jak se jejich dopady skládají do výše popsaného interferenčního obrazce. Jinak řečeno, pořád tam nějak poletují jednotlivé fotony; pro každý z nich je *pravděpodobnost*, že dopadne na detektor A, čtyřikrát větší, než v případě, že byla díрка jen jediná; naopak pravděpodobnost, že dopadne na detektor B, je skoro^[5] nulová.

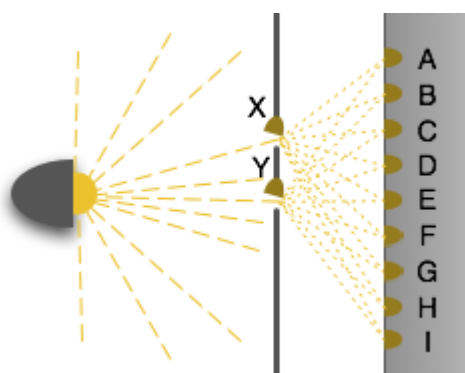
Stojí za to si uvědomit, že z právě popsaného pokusu plyne, že obrazec nemůže vzniknout ani tím, že by foton byl „tak trochu vlna“, a různé fotony by se po průletu různými dírkami u detektoru „srazily“ a přitom se skládaly dohromady jako vlny. Je zřejmé proč? Inu proto, že každý foton je tam *jindy*; první foton dávno dopadl na detektor předtím, než druhý vyletí ze zdroje! Můžeme si představit dokonce i to, že bychom pokus sestavili tak, aby jím prošel pouze jeden jediný foton. Jak už víme, v takovém případě nelze vůbec předpovědět, kam foton dopadne. Ale pozor: pokud bychom takovýto pokus miliardkrát zopakovali, pokaždé si zaznamenali místo, kam foton dopadl, a

potom ta místa nakreslili na papír na odpovídající souřadnice jako tečky, dostaneme na papíře opět týž interferenční obrazec!

Vraťme se k naší otázce *Copak to dává nějaký smysl? Jak může takový foton, který prolétá původní dírkou, „vědět“, že opodál existuje ještě jedna?* Fysikové si ji samozřejmě položili už dávno, a napadlo je, že možná takový foton vůbec není „zrnko písku“, ale nějaká prapodivná věc, která se jaksi rozdělí na dvě části, každá z nich proletí jednou z dírek, a pak se opět spojí (a přitom „interferuje sám se sebou“). Rozhodli se tedy ke každému z otvorů umístit další detektor, který zjistí, zda tudy foton proletěl nebo ne (i takové detektory umíme vyrábět), a sledovat, co se bude dít.

A děje se toto:

(i) každý foton, který dopadne na některý z detektorů A-I, nejprve proletí právě jednou dírkou. Asi tak polovina z nich tou prvou, asi tak polovina tou druhou;
(ii) *interferenční obrazec zanikne*, na každý z detektorů A-I dopadají fotony s touž pravděpodobností — jinými slovy, na každý z nich jich dopadne zhruba stejné množství. Stěna je opět osvětlena stejnoměrně, jako když jsme měli jen jediný otvor (ovšem dvakrát silněji)!



Co z toho, zvláště z pozorování (ii), plyne?

Těžko říci. Nejspíše asi něco jako (a) Bůh hraje v kostky, (b) když se pokusíme zjistit, jak je přesně hází, začne švindlovat, (c) a děsně se přitom chechtá.

QED...

Najít takovou teorii — tedy takový popis chování — světla, který by spolehlivě vysvětlil výše uvedené experimenty (a řadu dalších) a dokázal předpovědět jejich výsledky, opravdu není snadné. Fysikové vyzkoušeli ohromné množství teorií postavených na představách typu „fotony létají tak a tak“, ale každá z nich narazila na nějaký zádrhel, na neshodu s některým z pokusů, jehož vinou se nedala použít.

Nakonec se smířili nejen s fundamentální náhodností, ale s něčím ještě šílenějším: fotony nelétají — ne tak, abychom je přitom mohli pozorovat. Ony se prostě vyskytují: zkoumáme vznik fotonu ve zdroji světla a pak jeho výskyt na nějaký „dopadový“ detektor. Můžeme po cestě umístit „průletové“ detektory, a zjišťovat, zda se foton vyskytl v nich nebo ne. Co se ale dělo mezitím, to prostě nevíme a vědět nemůžeme: třeba foton v jednom místě zmizí a ve druhém se objeví. Nebo jej přenese trpaslík v kapsičce od trenýrek. Nebo cokoli.

Na základě této poněkud šílené představy (a řady dalších úvah, mezi nimiž k nejvýznamnějším patřila ona výše zmíněná pozorování, týkající se faktu, že svět nemá rád dokonalá, striktní omezení) se zhruba před sto lety podařilo sestavit teorii, jež chování (nejen) fotonů popisuje — teorii, založenou mj. právě na přístupu, že „mimo detektory není nic, resp. mimo detektory může být naprosto cokoli“. Touto teorií je kvantová elektrodynamika, a její úspěch je monstrózní: za sto let jsme dosud nenarazili ani na jeden jediný pokus, jehož výsledek by jí neodpovídal. Přesnost jejich předpovědí je dechberoucí — dovolím si ukrást panu Feynmanovi^[6] jeden z příkladů: kteréśi číslo (jde o magnetický moment elektronu, ale to není podstatné), nějak předpovídá QED, a také můžeme změřit jeho skutečnou hodnotu. Rozdíl mezi hodnotou, již předpovídá teorie, a již jsme naměřili, lze ilustrovat Feynmanovými slovy asi takto: *pokud byste měřili se stejnou přesností vzdálenost mezi Los Angeles a New Yorkem — pro ty slabší v zeměpisu, celou šířku amerického kontinentu —, byla by velikost chyby asi jako síla lidského vlasu.*

„Elektrodynamikou“ se teorie, která se zabývá světlem (a elektřinou a podobnými jevy), nazývá tradičně už od Maxwellových dob. Ale proč „kvantová“? Zde musíme na chvíli odbočit: když Max Planck na samém konci XIX. století zkoumal, jak horká tělesa září, zjistil zajímavou věc: pokud chceme, aby nám výpočty tohoto záření vycházely, musíme předpokládat, že

vyzařená energie nemůže být libovolná. Pokud si představíme, že může narůstat nebo klesat jen skokově, najednou vše začne vycházet ve shodě s pokusem. Planck tyto energetické skoky nazval *kvanty* (a dostal za ně Nobelovu cenu). Mnohem později se ukázalo, že tato kvanta nejsou jen šikovnou výpočetní pomůckou, nýbrž že mají mnohem hlubší význam: jsou to totiž právě naše „zrníčka světla“, fotony! Odtud se nová teorie nazývá „kvantovou“.

Kvantová elektrodynamika vůbec není jednoduchá; právě Feynman ale vytvořil její zjednodušující interpretaci, jež je v omezené míře přístupná i laikům. My se zde podíváme jen na nejzákladnější, brutálně až na kost ořezaný základ této zjednodušující interpretace, bez podrobného vysvětlení a bez řady detailů; jen díky tomu může být tento článek článkem a nikoli mnohastránkovou knihou. Tento nejzákladnější základ sám je ale až překvapivě prostý, a vypadá zhruba nějak takto:

(a) jak už víme, zkoumáme pouze „skok“ fotonu z místa A do místa B; úmyslně vůbec neřešíme, jak se tam dostal. Je ovšem zřejmé, že prostředí mezi místy A a B výsledek zásadně ovlivňuje — v předchozím textu jsme si ukázali, co se děje, pokud je mezi místy A a B stínítko s jedním či více otvory. Abychom se s tím dokázali nějak poprat, představíme si *úplně všechny možné cesty*, jimiž by foton mohl z místa A do místa B proletět;

Ne, nepředpokládáme, že by „ve skutečnosti“ foton nějakým záhadným způsobem všechny možné cesty doopravdy absolvoval; dokonce z pokusu, kdy jsme k dírkám ve stínítku dali průletové detektory, *víme*, že tomu tak není! Jde o čistou teorii, jež se skutečností nemá nic společného; jen si prostě všechny ty cesty představíme.

(b) ukazuje se zajímavá věc: existují-li dvě různé možné cesty mezi A a B, jejichž délka se liší o určitou pevnou vzdálenost, můžeme takovéto cesty ignorovat — v tom smyslu, že pravděpodobnost, že by foton podle některé z nich skončil v místě B, je zanedbatelná;

(c) naopak, existují-li dvě různé cesty mezi A a B, jejichž délka je stejná nebo se liší jen nepatrně, je pravděpodobnost, že foton podle některé z nich skončí v místě B,

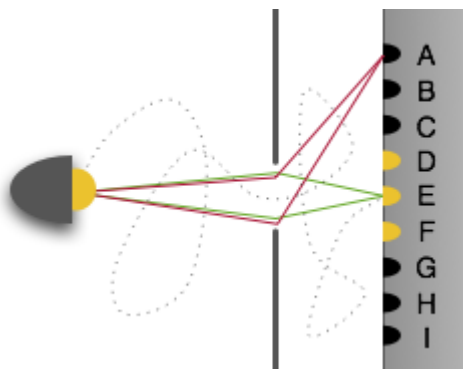
vysoká;

(d) aby to nebylo tak úplně jednoduché, po dvojnásobku kritické vzdálenosti z bodu (b) se vše opakuje. Tedy, označíme-li si tento rozdíl δ (ten klikyhák můžete číst *delta*), pak jsou-li dráhy různé o δ nebo 3δ nebo 5δ (a tak dále), jejich pravděpodobnosti se vzájemně ruší. Jsou-li stejné nebo liší-li se o 2δ , 4δ , 6δ (a tak dále), jejich pravděpodobnosti se vzájemně posilují^[7].

A toto je kompletní^[3] kvantová elektrodynamika, pokud se týká fotonů — tedy světla a všemožných dalších záření od rozhlasového vysílání přes teplo až po rentgen či paprsky gama. Na její druhou část, zabývající se elektrony — tedy elektřinou a hlavně veškerou hmotou a také tím, jak spolu se zářením vzájemně interagují —, se podíváme jindy, pokud snad i po přečtení tohoto článku vy ještě budete mít zájem (a já čas).

... a její použití

Podívejme se s těmito znalostmi znovu na náš první pokus s velkým otvorem — zdroj světla i detektory zobrazíme stejně, ale namísto „paprsků“ si v něm znázorníme několik možných myšlených drah fotonu:



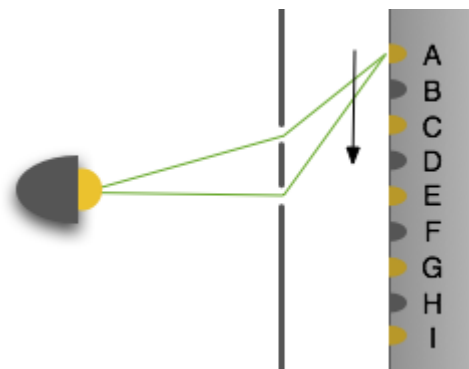
Samozřejmě to zdaleka nejsou všechny; jsou to ale extrémní možnosti. Všechny dráhy ze zdroje do detektoru E jsou někde mezi oběma zelenými čarami. Rozdíly mezi jejich délkou jsou proto jen malé, mnohem menší než δ — a tedy se pravděpodobnost, že foton skončí podle pravidla (c) v tomto detektoru, nasčítá do vysokého čísla.

Moment — křičíte možná — jakpak to, že všechny ostatní dráhy jsou mezi zelenými extrémny? Cožpak mezi „všemi možnými“ drahami nejsou i různé křivky a dráhy všelijak zubaté a klikaté? Co třeba ta, kterou na obrázku vidíme jako tečkovanou černou čáru? Inu, jistě, takové a ještě mnohem šílenější dráhy možné jsou — ale můžeme je klidně ignorovat, protože pro každou klikatě zamotanou možnou dráhu evidentně existuje jiná klikatě zamotaná možná dráha, jejíž délka se liší *právě o onen kritický rozdíl* δ , takže se nám podle pravidla (b) vzájemně vyruší a jejich pravděpodobnosti jsou zanedbatelné. Právě (a jenom) proto, že se všechny zbytečně zamotané a klikaté dráhy vzájemně ruší, pozorujeme obvykle takové věci, jako že se světlo šíří přímočaře, že se úhel dopadu rovná úhlu odrazu a podobně (za chvíli si ale ukážeme, že „obvykle“ není „vždy“).

Rozdíly mezi červenými extrémny jsou naproti tomu mnohem větší — je snad zřejmé, že čím je detektor dál od otvoru ve stínítku, tím se rozdíl mezi extrémními drahami více blíží k průměru tohoto otvoru. Je-li tento rozdíl větší, než naše δ , pak se podle pravidla (b) pravděpodobnosti těchto drah vzájemně vyruší, a šance, že by foton dopadl do detektoru A, je zanedbatelně malá.

A co když otvor ve stínítku zmenšíme tak, že jeho průměr — a tedy nutně také rozdíl mezi délkou *libovolných* extrémních drah k *libovolnému* detektoru — bude menší, než kritická vzdálenost δ ? Nu, zřejmě se budou pravděpodobnosti sčítat pro libovolný detektor: na každý z nich dopadne zhruba stejně mnoho fotonů, a světelný terč se nám rozplizne po celé stěně — tedy přesně to, co jsme v experimentu pozorovali.

Stejně dobře nám šílená teorie, vyjádřená v našem velmi hrubém přiblížení pravidly (b)-(d), vysvětlí interferenční obraz za dvojicí otvorů. Je to prajednoduchá geometrie — jak posunujeme cílový bod dvojice paprsků ve směru šipky:



je zřejmé, že rozdíl délek obou zelených drah se postupně mění, přičemž velikost a rychlost této změny závisí při dané poloze stěny, světla i stínítka na vzájemné vzdálenosti obou otvorů. (Není to zřejmé? Tak si to zkuste sestavit z provázků nebo ze špejlí, a posunovat podle šipky.) Kdykoli rozdíl dosáhne lichého násobku vzdálenosti δ , pravděpodobnosti se vzájemně vyruší a na daném místě bude tma, fotony sem dopadat nebudou; naopak v místech, kde je rozdíl sudým násobkem δ , se pravděpodobnosti spojí, a světla tam bude dvakrát víc, než „by mělo být podle zdravého rozumu“.

Zdá se vám snad, že zelené čáry na tomto obrázku vypadají úplně stejně jako červené na minulém, a tedy by to mělo stejně i fungovat? Kdepak, naprosto zásadní rozdíl je v tom, že minule červené čáry představovaly pouze extrémní možné dráhy, ale ne všechny možné: museli jsme počítat také se všemi drahami mezi nimi — a ty se vzájemně vyrušily. Naproti tomu zelené čáry na tomto obrázku neznázorňují extrémy, ale právě jen jediné dvě možné dráhy, jimiž se foton ze zdroje do cíle může dostat.

Trochu složitější je to s posledním experimentem, kdy jsme umístili do otvorů ve stínítku detektory průletu: zde si musíme především uvědomit, že zkoumáme všechny *možné* dráhy... jenže pokud nám ohlásil průlet detektor X, není žádná z drah skrze otvor Y možná! Stejně i naopak, detekujeme-li foton v místě Y, stanou se nemožnými dráhy, procházející otvorem X. Naše výše uvedená pravidla tedy musíme použít vždy pouze pro jediný otvor; dráhy, vedoucí různými otvory, nemůžeme sčítat.

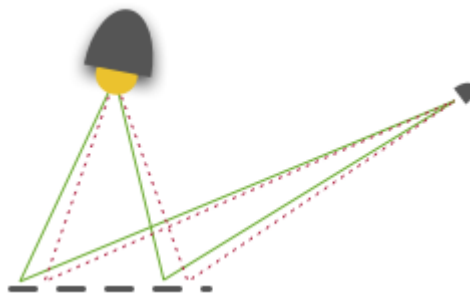
Díky detektorům se tak oba otvory chovají skutečně nezávisle jeden na druhém, a osvětlení stěny je jen obyčejnou — nikoli „kvantovou“ — kombinací těchto dvou

případů. Musíme tedy postupovat takto: pro kterýkoli detektor „kvantově“ spočteme pravděpodobnost, že na něj dopadne foton, jenž proletěl prvním otvorem (jak víme, ta je při dostatečně malém otvoru v podstatě stejná pro všechny detektory); pak pro týž bod spočteme pravděpodobnost pro cestu druhým otvorem (ditto), a tato čísla docela normálně sečteme. Výsledek opět přesně odpovídá experimentu.

Nakonec aspoň jeden praktický příklad

Mohli bychom si zde rozebrat z kvantového hlediska řadu optických jevů, jež z klasického pohledu dávají jen omezený smysl — také jste už někdy uvažovali třeba o tom, jak je to se „zrcadlením na rozhraní mezi chladným a horkým vzduchem“ (jež za horkých dní kreslí nad silnicemi neexistující louže), když takové rozhraní samozřejmě není nijak ostré, a těžko v něm hledat něco, oč by se světlo mohlo odrážet? QED to umí vysvětlit snadno a jasně (horký vzduch totiž relativně „zkracuje“ dráhu fotonů; proč tomu tak je, to plyne z té druhé části teorie, jež se zabývá vzájemnými interakcemi mezi elektrony a fotony). Článek je ale i bez takovýchto příkladů, byť sebezajímavějších, ukrutně dlouhý, a proto si už ukážeme jen jeden hezký trik, který má tu výhodu, že umožňuje jednoduché ověření v běžné praxi, bez jakýchkoli speciálních měřicích zařízení.

Při běžném odraze v zrcadle se nám zdá, že se „úhel odrazu rovná úhlu dopadu“ — to ale opět jen proto, že je to nejkratší možná cesta fotonů, a u těch delších se pravděpodobnosti vzájemně vyruší. Co ale kdybychom na zrcadle zaslepili proužky tak, aby se ty dráhy, jež zůstanou s odrazy od nezaslepených míst, lišily právě o sudé násobky naší kritické vzdálenosti δ ? Nemělo by pak takové zrcadlo odrážet pod „nesmyslným“ úhlem?



Obrázek ukazuje takový případ; zelené čáry jsou některé z drah, jejichž pravděpodobnosti se sčítají; červené tečkované jsou ty, jež by sousední zelené rušily — jenže nejsou mezi možnými drahami, neboť v odpovídajících místech je zrcadlo právě zaslepeno. Zelené proto zůstanou a sečtou se dohromady.

Takové zázračné zrcadlo s jemnou sítí zaslepených proužků má skoro každý doma — je jím obyčejné DVD s libovolným filmem. Vezměte si je, a použijte je jako zrcadlo pro zobrazení nějakého výrazného jasného předmětu; ideální je zdroj světla, např. vlákno žárovky. Pak zvolna DVD naklánějte od sebe, a po malé chvilce uvidíte nový odraz téhož zdroje pod „nesmyslným“ úhlem; bude ovšem úhlově zkreslený (protože drážky jsou kruhové). Navíc bude „roztážen“ v duhových barvách — to proto, že bílé světlo obsahuje více-méně všechny ostatní barvy, a proto, že naše číslo δ je pro každou barvu světla odlišné.

Bude to vypadat nějak trochu podobně, jako na posledním obrázku. Bílý přesvícený oblouček zcela dole je normální odraz žárovky; duhovitý obrys nad ním je druhý odraz pod úhlem mnohem ostřejším, než „úhel dopadu“:



-OC-

Tohle vše a mnohem více nám teorie, o níž se zde budeme bavit, samozřejmě umožňuje — ale pouze pokud detailně pochopíme její konkrétní detaily a její výpočetní a matematické postupy. Ty ale jsou, na rozdíl od základních principů, *velmi* složité.

Zde je ovšem vhodné mít na paměti to, že fyzikové už dávno moudře resignovali na snahu „popisovat reálný svět jak *doopravdy* vypadá“, protože... co to znamená,

„doopravdy“? Co když, dejme tomu, existuje Bůh, který si s námi hraje, a výsledky všech experimentů vědomě řídí tak, jak se mu zrovna zachce?

Proto moderní věda — a tomu slovu „moderní“ prosím rozumějme zhruba nějak jako „mladší než Isaac Newton“ — postupuje poněkud jinak. Nejprve (na základě pozorování reálného světa a notné dávky intuice, náhody, štěstí a bláznivosti) vytvoří formální matematický systém, který říká „pokud sestavíme experiment tak a tak, bude jeho výsledek takový a takový“. Jestliže v praxi skutečně výsledky pokusů takovéto teorii odpovídají, považujeme ji za „správnou“ — ovšem s plným vědomím toho, že *doopravdy, ve skutečnosti* může klidně být všechno úplně jinak, a my se jen náhodou strefili do nějakého popisu, který je realitě *podobný* — jenže jen v těch experimentech, jež jsme už provedli. Od *skutečné* reality se ale tento náš popis ve skutečnosti zásadně liší, a my na to přijdeme až při nějakém novém, dříve nevyzkoušeném experimentu napřesrok. Nebo za sto let. Nebo třeba nikdy, ale to jen proto, že náhodou zrovna ten jediný určující pokus jako na potvoru neprovedeme, takže budeme navěky žít v bludu.

Z toho všeho pak plyne další důležitý — ale filosoficky pro někoho trochu obtížný — krok: o tom, jak „to je *doopravdy* bez ohledu na teorie“, o tom, „jak ten svět ale *skutečně* funguje“, vůbec nemá žádný smysl uvažovat, protože neexistuje způsob, jak to zjistit. Jediný smysluplný význam tvrzení „svět funguje tak a tak a tedy“ je právě a pouze ten, že „tak a tak“ je obsahem nějaké teorie, již dosud žádný experiment nevyvrátil... ale může se to kdykoli stát, a tato teorie pak dříve nebo později bude nahrazena jinou, lepší, a třeba fundamentálně odlišnou. A právě v tomto smyslu v tomto článku formulace „ve skutečnosti je to tak a tak“ používáme.

Aby to fungovalo opravdu přesně takhle, potřebujeme světlo jedné barvy, třeba červené; s bílým by to bylo trochu složitější. Pro každou barvu světla totiž máme fotony trochu jiné „velikosti“; a bílé světlo jsou ve skutečnosti fotony všech možných různě barevných světél naházené na jednu hromadu. Barvami světla (stejně jako jeho polarisací — nevíte-li, co to je, nevadí!) se zde ale zabývat nebudeme, pro ty základy, jež si ukazujeme, to není zapotřebí.

Ovšem rozhraní mezi světelným terčem a tmou okolo nebude úplně ostré, což naznačuje, že to asi celé bude trošku složitější. Nicméně prozatím to můžeme

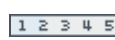
zanedbat, jde o nepatrnou vadu na kráse, již lze snadno přehlédnout — a navíc brzy narazíme na horší problémy, jež už zanedbat nepůjdou.

Jak už jsme si řekli, náš svět nemá rád dokonalá, striktní omezení; proto ve skutečnosti foton na detektor B (či D, F nebo H) dopadnout *může* — ta pravděpodobnost je ale velmi, velmi malá. Stejně tak, mimochodem, v úplně prvním pokusu s dostatečně velkým otvorem ve stínítku, kdy se ještě světlo chovalo „rozumně“ a kdy fotony „létaly rovně“, to ve skutečnosti bylo malinko složitější. Není pravda to, že *vždy nutně všechny* fotony dopadly na detektory D, E a F, a *nikdy žádný* na ty ostatní. Tu a tam nějaký foton s nepatrnou, ale nenulovou pravděpodobností mohl dopadnout i na detektory A, B, C, G, H a I (přesněji kamkoli mimo světelný terč za otvorem) — a o toto nepatrné čísílko je naopak pravděpodobnost dopadu na D, E a F (přesněji do toho světelného terče) menší než absolutní. Jde ale opravdu o nepatrné pravděpodobnosti a při běžných experimentech obvykle tyto případy nepozorujeme, neboť nastávají jen velmi, velmi zřídkakdy.

Z excelentní knihy „Neobyčejná teorie světla a látky“ (*QED: The Strange Theory of Light and Matter*), v níž je vše, o čem zde píšeme, rozebráno daleko přesněji, přehledněji, podrobněji a vůbec lépe, a již každému, koho zaujal tento článek, doporučuji co nejvřeleji.

Pokud znáte interferenci vln, bude vám to asi povědomé. Skutečně jde v „opravdické“ kvantové teorii o vlnové funkce a jejich sčítání; toto naše povídání je jen brutálním zjednodušením, přístupným i pro čtenáře bez matematických základů.

Mimochodem, i z našeho velmi hrubého přiblížení už asi v tuto chvíli bude zřejmé, proč je v QED poměrně velký problém s praktickými výpočty: možných drah je přece nekonečně mnoho. A u nekonečně mnoha čar se pak ovšem docela špatně počítají rozdíly délek a součty výsledných pravděpodobností... Existují samozřejmě matematické triky, jak to alespoň zčásti obejít, ale jsou hodně komplikované a problematické, a také náročné.

 (6x hodnoceno, průměr: **1,50** z 5)

644x přečteno

Updatováno: 27.11.2015 — 23:54

Na komentáři budu teprve pracovat...

.....
Jedna citace jako závědek : Ve stejném období vznikala **kvantová mechanika**, která později přerostla v novou teorii zbývajících tří interakcí – **elektromagnetické**, **slabé** a **silné**. Pojem síly se zde postupně také vytratil. Částice spolu v kvantové teorii interagují tak, že si vyměňují tzv. *polní* (intermediální, mezipůsobící) částice.

Reakce : Částice totiž nejsou přesné kuličky, částice je klubičko-vlnobalíček, kde každá částice má zvláštní „svůj“ tvar (dokonce bych řekl, že i z toho klubička „vykukují takové ‘panožky’). Když ve dvoušterbinovém pokusu proudí tato ‘hrbatá klubička‘, (hustý proud klubiček s různě natočenými panožkami) tak vždy „v davu-proudu“ jen některé narazí tím panožkem na okraj stěny a mění směr pohybu a každá ho má jiný, některé klubičko projde bez kolize).

Když si budeme všimnout interakcí dvou částic, (opět jako klubiček-vlnobalíčků zamotaných dimenzí , tak při té interakci oba přibližující se balíčky mění tvar křivostí dimenzí a „prolévají se-přelévají se“ navzájem – každá částice se deformuje jen částečně a zase dál (po interakci) udělají nový ‘kokon’ . Dokonce vizuálně je to podobné jak ukazují animace fyziků když se spojují – pohlcují dvě galaxie = prolévají se navzájem, jako řídké těsto. Takže : počátek interakce a konec interakce mezi dvěma částicemi „vypadá“ jako by mezi nimi bylo „polní prostředí“, jako by se „přelévala“ jakási „pomocná = polní částice“- bozon. Abstrakce tohoto popisu je stejná jako mají fyzikové o interakcích dnes jen s tím rozdílem, že aktéry tu nejsou „částice-kuličky z Něčeho“ (a tomu říkáme „hmota“), ale jsou to přímo ony vlnobalíčky-klubička z dimenzí veličin ψ a tomu říkáme „hmota“, chová se to tak že to má „vlastnosti“ a projevy-chování hmoty jak ty vlastnosti klubiček pozorujeme.

Takže resumé : Částice (hrbatá klubička zakroucených dimenzí) spolu interagují tak, že při přiblížení se „trhají“ , „prolnou“ se vzájemným „panožkem“, což lze abstraktně pojmenovat „místní pole“ respektive za polní „třetí částičku-klubičko-balíček“ = polní částice, která se „vymění“ – z jedné částice ona polní částice se „vyloupne“ a do druhé částice „vpluje“ = intermediální částice..., ale to vše jsou stavy „klubičkové“ = zamotané dimenze, které „plavou“ ve fundamentálním „rastru“ euklidovského časoprostoru plochého 3+3D. Vizuálně abstraktně je to velmi podobné jak to ukazují fyzikální animace při „kanibalizmu dvou galaxií“ anebo trochu variantně jako spojování dvou černých děr. U černých děr se animačně předvádí „zavinovací pohyb dvou těles až se splynou, ...a u těch interakcí elementů mikrosvěta, to není šnekovité spojení, ale rovné odloupení gluonu-klubička dimenzí z jednoho vlnobalíčku a přelití tohoto „intermediálního kousku“ do druhé částice. Tím vznikne jiný klubičko což je jiná elementární částice. - - To byla první představa... a jistě se bude vylepšovat a vylepšovat (až na představu poslední-konečnou). Zásadní a nové je tu, že v té vizi nové se nemění styl – popis představ fyziků „jak se interakce koná, co, s čím, proč“, ale jen to, že elementem **nejsou „kuličky z Něčeho“** („Něco“ samostatně ve Třesku vzniklého-stvořeného, čemuž říkáme hmota/antihmota), ale **jsou to hrbatá „klubička z dimenzí“** (zmuchlané dimenze plovoucí v nezmuchlaném ψ rastru) dvou časoprostorových veličin“ – toto je zásadní rozdíl ; jinak jsou obě abstrakce „o interakcích“ v podstatě stejné....

JN, 14.09.2019

<https://www.aldebaran.cz/astrofyzika/interakce/forces.php>

Na rozdíl od částic látky (leptonů a kvarků) mají **všechny polní částice** spin roven jedné. Částice s celočíselným spinem nazýváme **bosony**, nesplňují **Pauliho**

vyučovací princip a dvě takové částice se mohou nacházet ve stejném kvantovém stavu. Při velmi malé teplotě vytvoří zvláštní formu látky – všechny jsou ve stejném kvantovém stavu a mají společnou vlnovou funkci. Tvoří jediný celek, pole, v němž „plavou“ částice jakousi superčástici, superatom či supermolekulu. Této formě látky říkáme bosonový kondenzát.

Je třeba si uvědomit, že v kvantové teorii pojem částice a pole poněkud splývá. Objekty mikrosvěta se někdy projevují jako částice a jindy jako vlnění. Protože se nacházíme ve „vřícím-pěnivém“ stavu časoprostoru a...a vlastně se na něj díváme jako na průřez, jako na plochu kde „pění“ černé a bílé kuličky, pění nuly a jedničky, pění mezery a nemezery, pění body a mezery, pění zhuštění a zředěny...je to pole = plocha křivých dimenzí, které se stále proměňují Proto uslyšíte někdy o elektromagnetickém poli a jindy o fotonech, někdy o gluonovém poli a jindy o gluonech. Polní částice lze chápat jako kvantum = zhuštění = vlnobalíček toho prostředí 3+3D časoprostorového příslušného pole, tedy rozdíl dvou sousedních energetických stavů tohoto pole. Elektromagnetickou interakci dnes vnímáme jako výměnu polních fotonů, slabou interakci jako výměnu polních bosonů Z^0 , W^+ a W^- a silnou interakci jako výměnu osmi polních gluonů. Ano, přelívají se (přetékají) klubíčka dimenzí (zakřivených) z jedné částice do druhé částice Seznam nosičů sil by ale nebyl úplný bez Higgsova pole, které uděluje co to je „udělovat“ ??? Jakkým mechanismem ? Po vesmíru od Třesku lítá Higgspole o sumě 10^{53} kg a z tohoto balíku „ukrajuje každé částici“ kousíček a to dělá furt a futr po 14 miliard let anebo Higgs přiděloval hmotnost hned po Třesku ?...jak to je ? některým polním částicím hmotnost, a tím ovlivňuje zásadním způsobem chování interakcí. Pojdme se nyní s jednotlivými kvantovými interakcemi a jejich polními částicemi seznámit podrobněji.

Mechanismus předpokládá zavedení nového pole, aha...vesmír si nic nezavedl, ale lidé tomu Vesmíru zavedli...aha , před lidmi a před zavedením nového pole toto pole nebylo/neexistovalo, ano ??? které vyplňuje celý prostor a uděluje jednotně, naráz či postupně, či jak ? a z čeho ? některým částicím hmotnost. V okamžiku udělení hmotnosti dochází k tzv. *spontánnímu narušení symetrie* a původní elektroslabá interakce se štěpí na elektromagnetickou a slabou interakci. Toto pole bylo později nazváno Higgsovo pole a jeho částice Higgsovou částicí.

???



zatím nedokončeno