

# Vakuum jako základní energie

Doplňující text

Václav Dostál; citáty kurzívou

## OBSAH

Elektromagnetické vlnění	1
Šroubovice	2
Manipulace vakuem	4
Pojmy kvantové fyziky	5
Stlačený stav	6
Kvantový šum a informace v optice	9
Generování stlačeného vakua v atomických souborech	10
Porozumění hádance prostoru a energie	12

\*

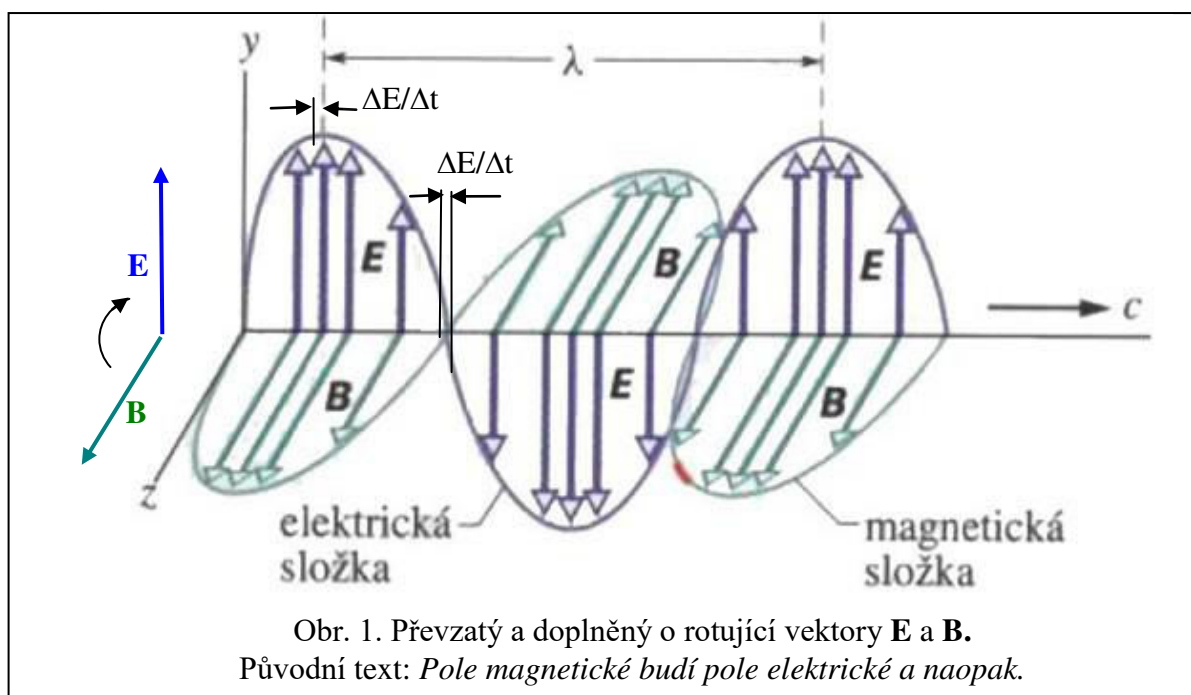
## Elektromagnetické vlnění

EM vlna se hodně často zobrazuje tak, jak je v:

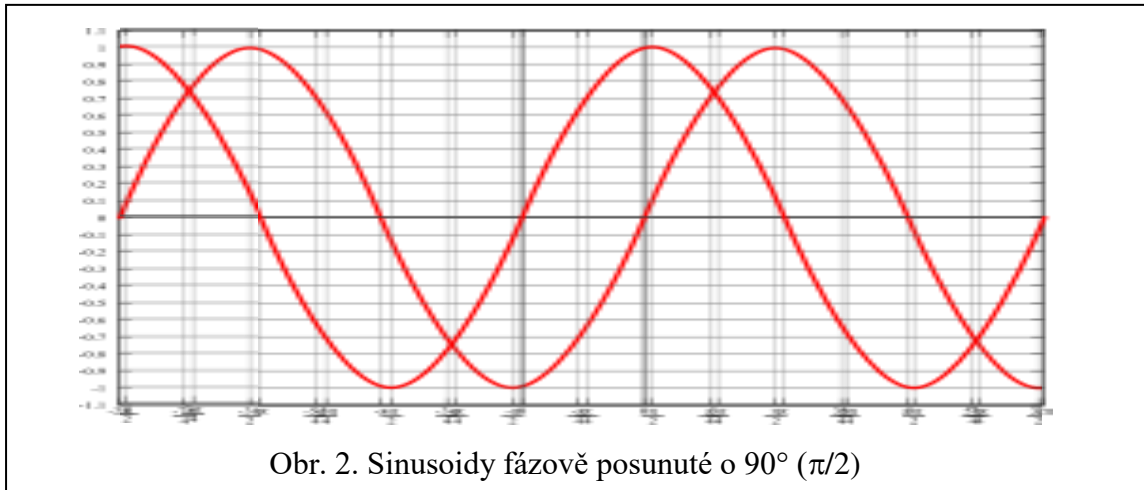
[https://www.gymck.cz/storage/1364980243\\_sb\\_2s\\_4o\\_34\\_35\\_elmag\\_vlneni\\_01.pdf](https://www.gymck.cz/storage/1364980243_sb_2s_4o_34_35_elmag_vlneni_01.pdf)

Vektor intenzity elektrického pole  $\mathbf{E}$  a vektor magnetické indukce  $\mathbf{B}$  na sebe kolmé jsou, ale jsou také **fázově** posunuty o  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ). Při maximální hodnotě intenzity elektrického pole  $\mathbf{E}$  je její časová změna ( $\Delta E/\Delta t$ ) nulová a proto budí nulovou magnetickou indukci. Při nulové hodnotě  $\mathbf{E}$  je její časová změna největší a proto budí maximální hodnotu magnetické indukce  $\mathbf{B}$ , sinusové průběhy elektrické a magnetické složky jsou fázově posunuty. To ovšem na obr. 6. není a také na jiných podobných obrázcích elektromagnetické vlny! Takže obr. 6. je nutno pomyslně upravit podle obr. 7. Jinak řečeno, roviny sinusových průběhů  $\mathbf{E}$  a  $\mathbf{B}$  spolu svírají pravý úhel a současně jsou tyto průběhy posunuty o  $90^\circ$ .

Navíc si nyní představme, že obě roviny zkroutíme šroubovitě. Nebo že místo průřezu



rotujících vektorů do roviny je rozvineme do ploch šroubovitě zkroucených. Viz níže.



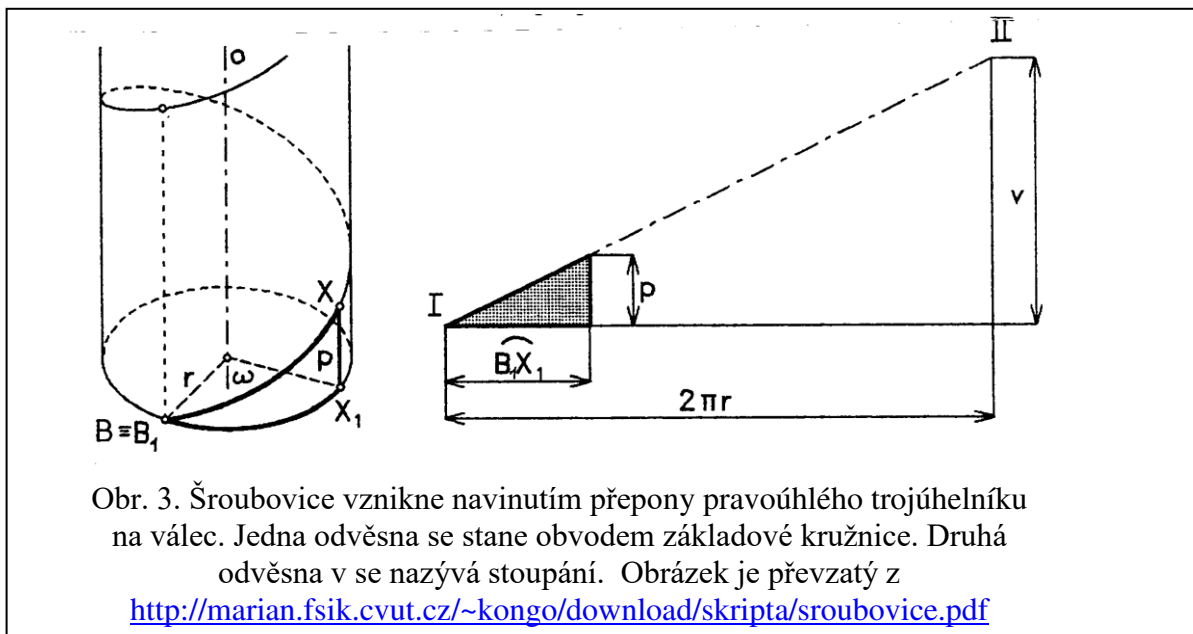
Vektor intenzity elektrického pole  $\mathbf{E}$  a vektor magnetické indukce  $\mathbf{B}$  na sebe kolmé jsou, ale jsou také **fázově** posunuty o  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ). Při maximální hodnotě intenzity elektrického pole  $\mathbf{E}$  je její časová změna ( $\Delta E/\Delta t$ ) nulová a proto budí nulovou magnetickou indukci. Při nulové hodnotě  $\mathbf{E}$  je její časová změna největší a proto budí maximální hodnotu magnetické indukce  $\mathbf{B}$ , sinusové průběhy elektrické a magnetické složky jsou fázově posunuty. To ovšem na obr. 6. není a také na jiných podobných obrázcích elektromagnetické vlny! Takže obr. 6. je nutno pomyslně upravit podle obr. 7. Jinak řečeno, roviny sinusových průběhů  $\mathbf{E}$  a  $\mathbf{B}$  spolu svírají pravý úhel a současně jsou tyto průběhy posunuty o  $90^\circ$ .

Navíc si nyní představme, že obě roviny zkroutíme šroubovitě. Nebo že místo průmětu rotujících vektorů do roviny je rozvineme do ploch šroubovitě zkroucených.

### Šroubovice

<http://home.zcu.cz/~rvyrut/WWW-KMA/GS2/Prednasky/sroubovice.pdf> : Šroubový pohyb vzniká složením rovnoměrného otáčivého pohybu kolem pevné přímky (osy) a rovnoměrného posuvného pohybu ve směru této přímky.

Šroubovice může být levotočivá (viz obr. 8) nebo pravotočivá – podle směru rotace válce, na němž je navinuta. V praxi se využívá u šroubů a matic k převodu rotačního pohybu na



posuvný nebo naopak, u šroubových pružin a u točitého schodiště.

Viz také: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Šroubovice>.

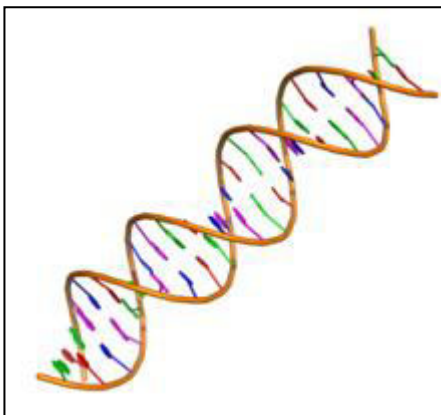
V naší teorii zavádíme pro kosmon šroubovitý pohyb rychlostí  $c$ . Kosmon si můžeme představit jako krátký šroub, pohybující se ve stojící matici nebo jako pohybující se matici po pevném šroubu.

Také můžeme mít jiné zobrazení, kdy se otáčí a posouvá vektor  $\mathbf{E}$ , či kdy se otáčí a posouvá šroubovitě zkroucená rovina sinusoidy intenzity elektrického pole  $E$ . K takové představě jsem vypůjčil obrázek DNA, kde však místo „příček“ (párů bází) dosadíme onen vektor nebo onu zkroucenou rovnu. Je ovšem nutné ještě přimyslet druhý vektor – vektor magnetické indukce  $\mathbf{B}$  nebo druhou zkroucenou rovnu sinusového průběhu  $B$ ), fázově posunutý o  $90^\circ$ . A navíc by se celý obraz **otáčel** kolem osy šroubovice a svisle posouval. Celá dvojšroubovice (na obr. 9. a. červeně, na obr. 9 b. zeleně) by znázorňovala trajektorie špičky vektoru  $\mathbf{E}$ . Druhý vektor  $\mathbf{B}$  by byl kolmý na  $\mathbf{E}$ .

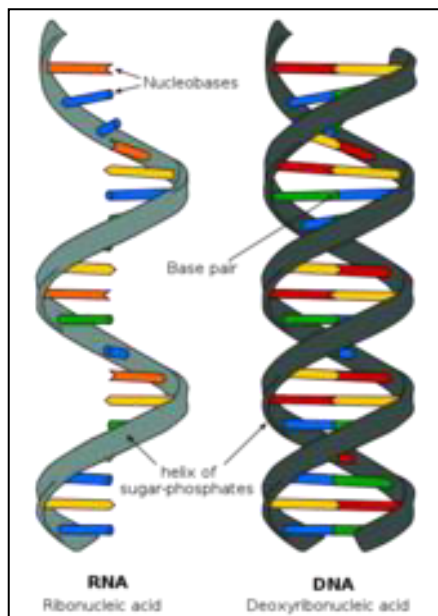
Otáčením a posouváním vektorů se vytvoří dlouhý válec, který znázorňuje irad. Pokud bychom uvažovali jen jeden závit (jedno otočení vektoru  $\mathbf{E}$  či  $\mathbf{B}$  o celý úhel a jedno stoupání), vznikl by kosmon. V obou případech je nutné uvážit „sružený“ kosmon („sružené“ kosmony), letící a otáčející se opačně. „Sružené“ by byla pouze dvě levotočivé šroubovice, nebo obě pravotočivé. Nemůžeme uvažovat jednu levotočivou a k ní „sruženou“ pravotočivou.

Viz <https://cs.wikipedia.org/wiki/Dvoušroubovice>: *Dvoušroubovice (dvojitá šroubovice, anglicky double helix) je geometrický útvar, který se skládá ze dvou šroubovic se společnou osou (osou šroubovice) a shodnou vzdáleností od této osy, úhlem stoupání a chiralitou [levotočivostí nebo pravotočivostí], které mají vzájemně posunutou fázi stoupání.*

Pro setrvačnou částici zvolil obraz toroidu. Zde by nemohl uvažovaný kosmon, z něhož toroid vznikne, přímočaře letět a otáčet se. Šroubovitě zkroucená elektromagnetická vlna nemůže v tomto případě letět. Takže uvnitř toroidu vznikne chvění, na obvodu minimálně jedna stojatá vlna.



Obr. 4 a. Dvojitá šroubovice:  
Převzato z:  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Nucleic\\_acid\\_double\\_helix](https://en.wikipedia.org/wiki/Nucleic_acid_double_helix).



Obr. 4. b.  
Jednoduchá (u RNA) a dvojitá šroubovice (u DNA).  
Převzato z:  
[https://www.wiki-skripta.eu/w/DNA\\_\(nukleová\\_kyselina\)](https://www.wiki-skripta.eu/w/DNA_(nukleová_kyselina)).  
Místo „příček“ (párů bází) si dosadíme okamžitou polohu vektoru  $\mathbf{E}$  nebo  $\mathbf{B}$ .

\*

## Manipulace vakuem

Výběr z článku **Fyzici říkají, že manipulovali "ryzí nicotou" a pozorovali důsledek** <https://www.sciencealert.com/physicists-say-they-ve-managed-to-manipulate-pure-nothingness> od Fiony MacDonald

Nejprve myslíme o vakuu klasickým způsobem – jak prostor zcela zbavený hmoty/látky, s nejnižší možnou energií. Neexistují tam žádné částice a nic neinterferuje s čírou fyzikou.

Ale podle výsledku jednoho z nezákladnějších principů v kvantové mechanice, Heisenbergova principu neurčitosti, tvrdícího, že existuje mez znalosti o kvantových částicích, vakuum není prázdné, ... vlastně „vře“ silnou energií a je zaplněno páry částic-antičástic, které se náhodně objevují a mizí.

Jsou to spíše 'virtuální částice' než fyzikální hmota/látka, takže je běžně nemůžeme detekovat. Ale i když jsou neviditelné, podobně jako mnoho věcí v kvantovém světě, subtilně ovlivňují reálný svět.

Tyto kvantové fluktuace vytvářejí náhodně fluktuující elektrická **pole**, která mohou ovlivňovat **elektrony**, čímž vědci poprvé nepřímo předvedli jejich přítomnost ve 40. letech.

Po desetiletí to bylo všechno, museli jsme jít dál.

Pak v r. 2015 **tým** vedený Alfredem Leitenstorferem u Univerzity v Kostnici v Německu tvrdil, že přímo detekoval tyto fluktuace, pozorováním jejich vlivu na **světelnou** vlnu. Jejich výsledky byly publikovány ve Science.

Vystřelili **super krátký laserový puls** – trvající jenom několik femtosekund ...– do vakua a byli schopni vidět **subtilní změny** v polarizaci světla. Řekli, že tyto změny byly přímo způsobeny kvantovými fluktuacemi.

O jejich tvrzení se stále debatuje, ale badatelé nyní pozvedli svůj experiment na další úroveň „**stlačení**“ vakua a řekli, že jako výsledek byli schopni pozorovat silné změny ve fluktuacích vakua.

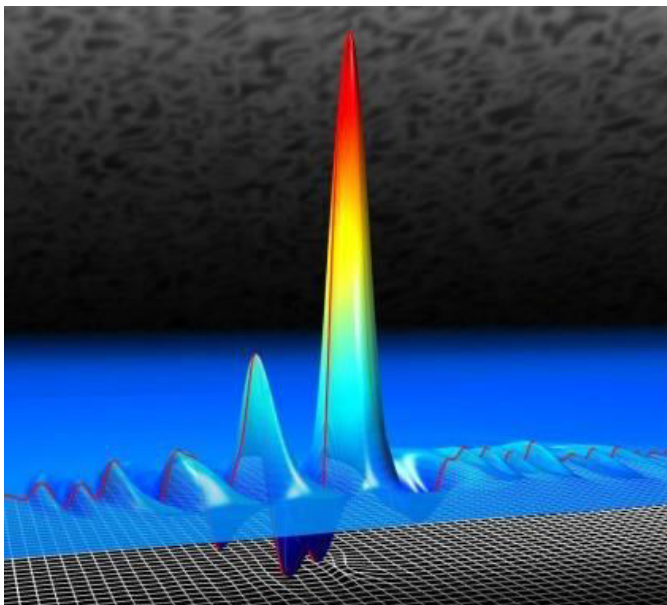
Tým řekl, že když „zmáčkl“ vakuum, pracoval podobně jako při zmáčknutí balonu, a **přemístil** v něm podivné kvantové fluktuace.

Někdy se fluktuace stávají silnější než 'šum' pozadí nestlačeného vakua a v některých oblastech jsou klidnější [než ten šum].

Jak můžeme vidět, jako výsledek toho stlačení, v kvantových fluktuacích existují **jehlové impulsy**.

Ale také se stane něco podivného, fluktuace v některých místech klesnou **pod** úroveň šumu pozadí, jsou nižší než základní stav prázdného prostoru, což někteří vědci nazývají „**udivující jev**.“

Jako nová technika měření nemá ani absorpci fotonů, aby je měřila, ani jejich zesílení; je možné přímo detekovat šum elektromagnetického pozadí a tak také řídit odchylky od základního stavu, vytvořeného badateli, vysvětluje tisková zpráva. Tým nyní testuje právě jak přesná je jejich technika a jak mnoho se z toho mohou poučit.



Obr. 5. Převzatý. Kvantové fluktuace

Doplnění předchozího článku  
**Dopravní zácpa v prázdném prostoru**  
(Fyzici studují kvantové vakuum). Výběr

<https://www.sciencedaily.com/releases/2017/01/170118132244.htm>

Speciální laserový systém generuje ultrakrátké světelné pulsy, které trvají jen několik femtosekund a jsou tak kratší než poloviny periody světla ve vyšetřovaném spektrálním rozsahu. ... Extrémní citlivost metody dovoluje detekci **elektromagnetických** fluktuací dokonce v nepřítomnosti intenzity, tj. v úplné tmě. ... Alfred Leitenstorfer a jeho tým uspěli v přímém pozorování těchto fluktuací jako první a ve středně **infračerveném** rozsahu frekvencí, kde dokonce konvenční přístupy ke kvantové fyzice nebyly dosud vypracovány.

Manipulací vakua silně soustředěnými femtosekundovými pulsy badatelé přišli s novou strategií generování „zmáčknutého světla“, vysoce neklasickým stavem pole záření. Rychlost světla v určité části prostoročasu je vědomě **měněna** intenzivním pulsem femtosekundového laseru. Lokální manipulace rychlostí šíření „**stisků**“ vakuového pole, které je rovnocenné přemístění fluktuací vakua.

Nový experimentální přístup ke kvantové elektrodynamice je pouze **třetí** metodou studia kvantového stavu světla. Nyní vzniká nová základní myšlenka: Jaký přesně je kvantový charakter světla? Co vlastně je **foton**? Soustředme se na poslední otázku, která je mnohem jasnější kostnickým fyzikům. Místo kvantového balíčku energie je to spíše **míra** místní kvantové statistiky [intenzit] elektromagnetických polí v prostoročasu.

\*

## Pojmy kvantové fyziky

**Koherenci** podle [https://cs.wikipedia.org/wiki/Koherence\\_\(vlnění\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Koherence_(vlnění)) rozumíme vzájemnou souvislost fáze a amplitudy vlnění vycházejících buď ze dvou různých míst na povrchu zářícího tělesa (koherence prostorová) nebo vlnění vycházejícího z jednoho místa, avšak s určitým časovým odstupem (koherence časová).

Koherentní vlnění je vlnění o stejné frekvenci, stejného směru kmitání a o stejné fázi (nebo fázovém rozdílu).

Na koherenci závisí také interference [skládání dvou nebo více] vln. Jestliže vlny interferují, ať už destruktivně [zeslabují se nebo se vyrušují], či konstruktivně [zesilují se], záleží to na jejich vzájemném fázovém posunu. O dvou vlnách řekneme, že jsou koherentní, jestliže je jejich fázový rozdíl konstantní, tedy i jejich vlnová délka je shodná.

**Kvantové stavy** nemohou být libovolné, mají pouze diskrétní (některé) hodnoty.

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantový\\_stav](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantový_stav): Kvantový stav, kterému přísluší nejnižší přípustná energie, nazýváme základní stav. Kvantový stav s hodnotou energie vyšší, než je hodnota energie základního stavu, nazýváme excitovaný stav. Přitom **základní** stav energie, který můžeme označit jako **nulový** nebo také vakuový, **není** roven nule.

**Kvantová superpozice stavů** ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantová\\_superpozice](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvantová_superpozice)) je základním principem kvantové mechaniky, podle kterého lze každé dva (a více) kvantové stavy kombinovat (superponovat), čímž vznikne nový kvantový stav. To znamená, že každý kvantový stav lze popsat jako součet dvou (a více) jiných stavů. Kvantová superpozice je běžná u kvantových objektů, jako jsou elementární částice či atomy.

**Komutace** (<https://cs.wikipedia.org/wiki/Komutace>) v matematice [a v aplikaci v kvantové fyzice] je **symetrická vlastnost** operandů vzhledem k zavedené operaci, tj.  $A \text{ op } B = B \text{ op } A$

Daná operace je komutativní, pokud vzhledem k ní komutují všechny přípustné operandy, což platí například při běžném násobení nebo sčítání čísel:  $AB = BA$ ,  $A+B = B+A$ .

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Komutativita>: **Komutativita** je vlastnost ... operace spočívající v tom, že u ní nezávisí na pořadí jejich operandů.

**Variance**: Podle [https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozptyl\\_\(statistika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Rozptyl_(statistika)): **Rozptyl** (též střední kvadratická odchylka, střední kvadratická fluktuace, **variance** nebo také **disperze**) se používá v teorii pravděpodobnosti a statistice. Je to druhý **centrální moment** náhodné veličiny. Jedná se o charakteristiku variability rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny, která vyjadřuje variabilitu rozdělení souboru náhodných hodnot kolem její střední hodnoty.

**Centrální moment** ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Centrální\\_moment](https://cs.wikipedia.org/wiki/Centrální_moment)) je jisté reálné číslo charakterizující rozdělení náhodné veličiny.  $K$ -tý centrální moment se označuje  $\mu_K$ .

<https://en.wikipedia.org/wiki/Variance>: **Variance** je čtverec [druhá mocnina] pravděpodobnosti odchylky náhodné proměnné od její střední [hodnoty].

**Kvadratura** podle [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvadratura\\_\(matematika\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kvadratura_(matematika)) je historický matematický termín, který znamená **výpočet** plošného obsahu (krátce obsahu nebo **plochy**) určitého geometrického obrazce.

**Heisenbergův princip neurčitosti** ([https://cs.wikipedia.org/wiki/Princip\\_neurčitosti](https://cs.wikipedia.org/wiki/Princip_neurčitosti)) ... je matematická vlastnost dvou ... veličin. Nejznámějšími veličinami tohoto typu jsou poloha a hybnost elementární částice v kvantové fyzice.

Nejznámějším případem principu neurčitosti je pro standardní odchylky [polohy]  $\Delta x$  a [odchylky hybnosti – ve směru  $x$ ]  $\Delta p_x$ , pro které platí:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2},$$

kde  $\hbar$  je redukovaná Planckova konstanta ( $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,0546 \cdot 10^{-34}$  Js).

Heisenbergův princip říká, že čím přesněji určíme polohu částice (uvažované jako bod), tím méně přesně můžeme určit její hybnost a naopak – bez ohledu na to, jak dobré přístroje máme.

## Stlačený stav

**Stlačený koherentní stav** ([https://en.wikipedia.org/wiki/Squeezed\\_coherent\\_state](https://en.wikipedia.org/wiki/Squeezed_coherent_state)):

*Stlačený (squeezed) koherentní stav* ve fyzice je kvantový stav, který je obvykle popsán dvěma nekomutujícími proměnnými, majícími plynulá spektra vlastních hodnot. Příklady jsou poloha  $x$  a hybnost  $p$  částice a (bezrozměrné) elektrické pole v amplitudě  $X$  (fázi 0) a v režimu  $Y$  (fázi 90°) světelné vlny (kvadratur vln). Výsledek standardních odchylek/deviací dvou takových operátorů se řídí principem neurčitosti:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2} \text{ nebo } \Delta X \Delta Y \geq \frac{1}{4}.$$

Přitom zde písmenem  $X$  označujeme kvadraturu (pravděpodobnostního) stavu nulové fáze a písmenem  $Y$  kvadraturu (kvantového) stavu fáze posunutou o 90°.

Poněvadž považujeme vakuum za základní elektromagnetické vlnění, můžeme pro jeho popis použít výraz „světlo.“ Světlo či přesněji viditelné světlo je maličká část elektromagnetického záření (vlnění). Má, stejně jako všechny ostatní části EM vlnění) charakter vlnový a současně kvantový. Když tedy použijeme „světlo“ jako představitele základního EM vlnění, neuděláme žádnou chybu. Naopak, pomocí velmi známé fyzikální entity (pomocí světla) objasníme málo známou nebo neznámou entitu (vakuum neboli základní EM vlnění).

## Stlačené stavy světla

([https://en.wikipedia.org/wiki/Squeezed\\_states\\_of\\_light](https://en.wikipedia.org/wiki/Squeezed_states_of_light)). V kvantové fyzice je světlo ve stlačeném stavu, jestliže intenzita elektrického pole  $E$  pro některé fáze  $\vartheta$  má kvantovou neurčitost menší než onu pro koherentní stav. Termín „stlačení“ tak odkazuje na redukovanou kvantovou neurčitost. Stlačený stav k vyhovění Heisenbergova vztahu neurčitosti musí také mít fáze, při nichž neurčitost [intenzity  $E$ ] elektrického pole je anti-stlačená [rozšířená], tj. větší než neurčitost při **koherentním** stavu.

Jinak řečeno, jestliže zmenšíme („stlačíme“) neurčitost ve fázi, současně tím neurčitost druhé veličiny, intenzity elektrického pole, zvětšíme („rozšíříme, roztáhneme“). Veličina bude mít vždy „rozmazanou“ hodnotu. „Stlačená“ veličina přitom bude přesnější, ale „roztažená“ nepřesnější. Záleží na tom, kterou hodnotu chceme zjistit jako velmi přesnou, co nejpřesnější. Musíme však „obětovat“ přesnost jiné hodnoty, která s tou naší vybranou souvisí.

Nepřesnost je maličká – v číselném řádu  $-34$  (viz výše uvedený Heisenbergův princip neurčitosti). V běžném životě to nehraje vůbec žádnou roli a v klasické fyzice zcela zanedbatelnou, ale v kvantové fyzice tuto nepřesnost a z ní plynoucí jevy zanedbat nesmíme!

**Koherentní stav** je specifický kvantový stav kvantového harmonického oscilátoru, často popsaného jako stav, který má dynamiku nejtěsněji podobnou klasickému harmonickému oscilátoru. Klasickým harmonickým oscilátorem může být pružina nebo kyvadlo s maličkými výkyvy. Oscilace (kmity) jsou harmonické, tj. zobrazitelné sinusoidou. Kvantový oscilátor (např. kmitající atomy v krystalické mřížce) na rozdíl od klasického nemůže mít nulovou energii. I v základním stavu (nulovém, vakuovém) má energii  $E = \frac{1}{2} h \nu = \frac{1}{2} \hbar \omega$ .

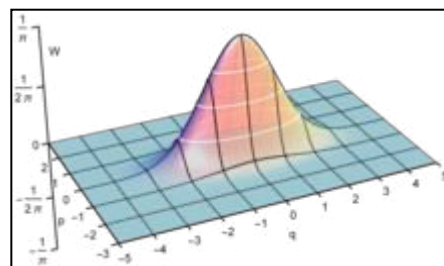
## Kvantově fyzikální pozadí

Kmitající fyzikální kvantita nemůže mít přesně definované hodnoty při všech fázích oscilací. To je pravda pro elektrická a magnetická pole elektromagnetické vlny, stejně jako pro jiné vlny nebo kmity. (Viz obr. 6.) Tento fakt můžeme pozorovat v pokusech a je správně popsán kvantovou teorií. Pro elektromagnetické vlny obvykle uvažujeme jenom elektrické pole, protože významně interaguje s hmotou/látkou. [Interakce magnetického pole je „slabší“.]

Obr. 6. ukazuje pět odlišných kvantových stavů, v nichž může být **monochromatická** vlna. [Naše „vakuum“ je rovněž monochromatické: uvažujeme jedinou základní frekvenci.] Rozdíl pěti kvantových stavů je dán rozdílnými excitacemi elektrického pole a různými rozloženími kvantové neurčitosti podél fáze. Pro narušený **koherentní** stav pravděpodobná (střední) hodnota elektrického pole jasně ukazuje oscilaci, s neurčitostí **nezávislou** na fázi (a). Také **fázově stlačené** stavy (b) a **amplitudově stlačené** stavy (c) ukazují oscilaci středního

elektrického pole [střední hodnoty intenzity  $\mathcal{E}$ ], ale zde neurčitost **závisí** na fázi a je stlačená pro některé fáze. **Vakuový** stav (d) je speciální koherentní stav a není stlačený. Má nulové střední elektrické pole pro všechny hodnoty a fázově nezávislou neurčitost. V **průměru** má nulovou energii, tj. nula fotonů a je to základní stav **monochromatické** vlny, kterou uvažujeme. Nakonec, stav **stlačeného** vakua má také nulové střední elektrické pole a fázově nezávislou neurčitost (e).

Nulová hodnota je přitom vztažná je uvažována pro základní = nulový, vakuový stav, kdy ovšem uvažujeme vlivem neurčitosti také záporné hodnoty intenzity elektrického pole. Jindy se ve vakuovém stavu uvažuje záporná energie. Přitom uvažujeme, že vakuový stav je



Obr. 5. Převzatý. Wignerovo kvasi-pravděpodobnostní prostorové rozložení stlačeného stavu

charakterizován nulovou přítomností částic (elektronů, protonů, ...). Tzn., že energie těchto částic je nulová. Neznamená to ovšem nějakou absolutní nulu, protože energie základních fotonů (zvaných standardně „virtuální fotony“ a námi „kosmony“) je naopak mimořádně veliká. Záporná intenzita elektrického pole se uvažuje ve **všech** pěti stavech (viz obr. 6).

Obecně se kvantová neurčitost odhaluje velkým počtem identických měření v identických kvantových objektech (zde režimech světla) tak, že dávají odlišné výsledky. Uvažme znovu monochromatickou plynulou světelnou vlnu. Např. emitovanou ultra-stálým laserem). Jedinečné měření  $E(\vartheta)$  je provedeno přes mnoho period světelné vlny a poskytuje jedinečný počet. Další měření  $E(\vartheta)$  budou dána následně tímž laserovým paprskem. Při záznamu velkého počtu takových měření známe neurčitost pole  $\vartheta$ , abychom získali úplný obraz a např. obr. 4b. potřebujeme záznam statistiky mnoha různých fází  $0 < \vartheta < \pi$ .

#### Kvantitativní popis stlačené neurčitosti

Měřené intenzity elektrických polí fáze  $\vartheta$  pole jsou čtverce normalizovaného operátoru  $X_\vartheta$ , kde  $X_{\vartheta=0st} \equiv X$  je čtverec amplitudy vlny a  $X_{\vartheta=90st} \equiv Y$  je čtverec fáze vlny.  $X$  a  $Y$  jsou nekomutující proměnné. I když představují elektrická pole, jsou bezrozměrné a vyhovují následujícímu vztahu neurčitosti:

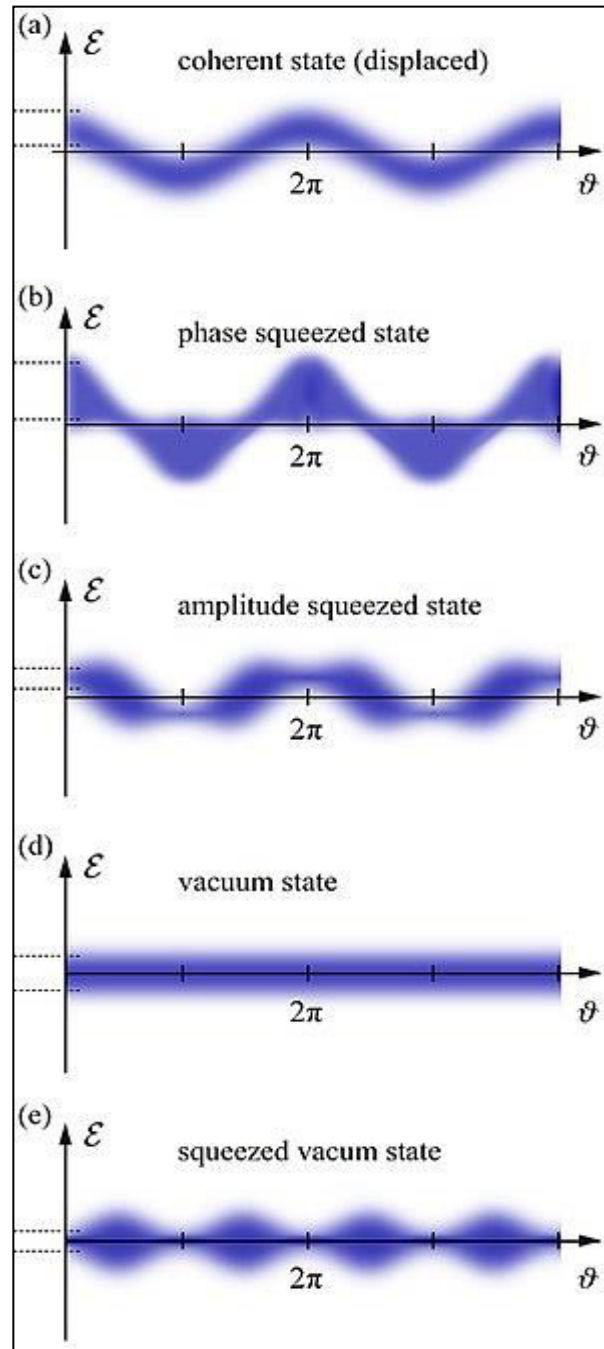
$$\Delta X^2 \Delta Y^2 \geq \frac{1}{16}$$

kde  $\Delta^2$  znamená varianci. (Variance znamená čtverec naměřené hodnoty minus čtverec střední hodnoty měřené hodnoty). Jestli režim světla ve svém základním stavu, neurčitost počtu fotonů je nula., výše uvedený vztah neurčitosti je saturován a variance čtverců jsou  $\Delta X_g^2 = \Delta Y_g^2 = 1/4$ .

Normalizační výběr má pěknou vlastnost, že suma variancí základního stavu poskytuje excitaci nulového bodu kvantového harmonického oscilátoru  $\Delta^2 X_g + \Delta^2 Y_g = 1/2$ .

**Definice:** Světlo je ve stlačeném stavu tehdy (a jen tehdy), jestliže existuje fáze  $\vartheta$ , pro niž

$$\Delta^2 X_\vartheta < \Delta^2 Y_\vartheta = 1/4.$$



Obr. 6. Převzatý. Elektrické pole monochromatické světelné vlny versus fáze pro různé kvantové stavy. Chmýřovitá oblast popisuje fakt, že intenzita elektrického pole není přesně definována. Čím tmavší barva, tím větší je pravděpodobnost.



Zatímco koherentní stavy náleží semi-klasickým stavům, protože mohou být úplně popsány semiklasickým modelem, stlačené stavy světla náleží tzv. neklasickým stavům, které také obsahují číselné stavy a stavy Schrödingerovy kočky. ...

Činitel stlačení v **decibelech** můžeme vypočítat následujícím způsobem:

$$-10 \cdot \log \frac{\Delta_{\min}^2 X_{\theta}}{\Delta^2 X_g}, \text{ kde } \Delta_{\min}^2 X_{\theta} \text{ je nejmenší variance, kdy se mění fáze } \vartheta \text{ od } 0 \text{ do } \pi. \text{ Tato}$$

zvláštní fáze  $\theta$  se nazývá **stlačující úhel**.

Jak vidíme, označování variancí je různé:  $\Delta X^2$ ,  $\Delta^2 X$ ; také  $\sigma^2(X)$ ,  $S^2(X)$ ,  $D(X)$ ,  $\text{var}(X)$ .

### Aplikace

Stlačené světlo se používá k redukci šumu fotonů (**shot noise**) v optických vysoce přesných měřeních, nejvýznamněji laserových interferometrech.

To upřesňuje Tycova práce <https://www.physics.muni.cz/~tomtyc/habilitace.pdf>: „Moderní kvantová optika je z velké části experimentální disciplína, pro kterou má klíčový význam přesné měření kvantového stavu světla. Jednou ze základních detekčních metod je tzv. **homodynní** detekce založená na **interferenci** měřeného světelného svazku se světlem známých vlastností (tzv. lokálním oscilátorem). Jde o fázově citlivou metodu, která umožňuje přímo měřit tzv. kvadratury, základní veličiny používané pro popis kvantovaného elektromagnetického pole.“

Vracím se k [https://en.wikipedia.org/wiki/Squeezed\\_coherent\\_state](https://en.wikipedia.org/wiki/Squeezed_coherent_state):

### Generování

Stlačené světlo je vytvářeno prostředky nelineární optiky: ... pole ... o dvojnásobné optické frekvenci je soustředěno do nelineárního krystalu, který je umístěn mezi dvě nebo více zrcadel, tvořících optický rezonátor. Také se používá výraz „vstřikování světla“ do toho rezonátoru. Viz také níže „Generování stlačeného vaku“.

### Kvantový šum a informace v optice

(<http://muj.optol.cz/filip/presentation>);

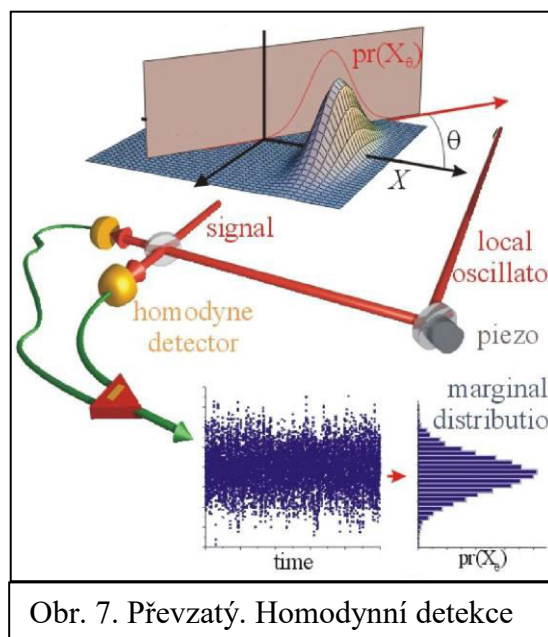
Výběr z prezentace

#### KVANTOVÝ ŠUM A INFORMACE V OPTICE

- Nosičem informace je vždy fyzikální systém.
- Světlo je vynikajícím nosičem informace.
- Kvantový šum omezuje optické komunikace: šum nemůže vymizet ve všech veličinách vhodných pro přenos – nekompatibilní veličiny.
- Kvantová informace: využití nekompatibilních veličin pro přenos a zpracování informace
- Nekompatibilní veličiny nelze současně přesně měřit a kopírovat. Zisk informace je vždy doprovázen zvýšením šumu.
- Toto zvýšení šumu mohou komunikující strany odhalit: kvantová distribuce bezpečného klíče – kvantová kryptografie.

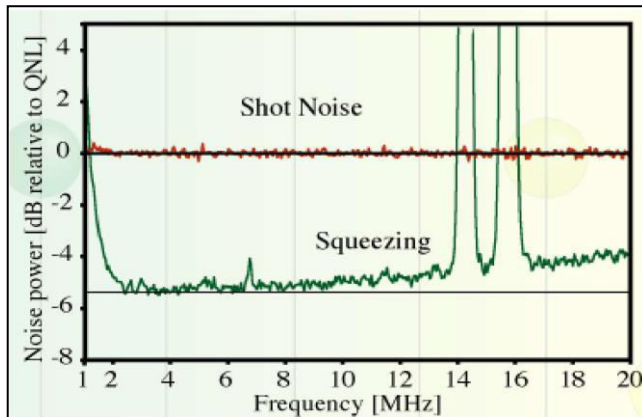
#### SVĚTLO – KVANTOVÝ SYSTÉM [Pomlčka znamená „je“]

- Koherentní laserové záření vykazuje kvantové vlastnosti – existují dvě nekompatibilní veličiny  $X$  a  $P$ , jejichž variance fluktuací jsou omezeny Heisenbergovou relací neurčitosti.



Obr. 7. Převzatý. Homodynní detekce

- Veličiny  $X$  a  $P$  lze přímo měřit homodynní detekcí.



Obr. 8. Převzatý. Výkon šumu [dB] vs. frekvence [MHz] pro shot šum a stlačené světlo.

### STLAČENÉ SVĚTLO

- Fluktuační veličiny  $X$  jsou, menší než pro koherentní laserový signál.
- Stlačené světlo je generováno v optických nelineárních krystalech a optických vláknech.
- Umožňuje zvýšit **citlivost optického interferometru** na změnu optické dráhy a zvýšit **dosah bezpečné kvantové komunikace**.

### Generování stlačeného vakua v atomických souborech

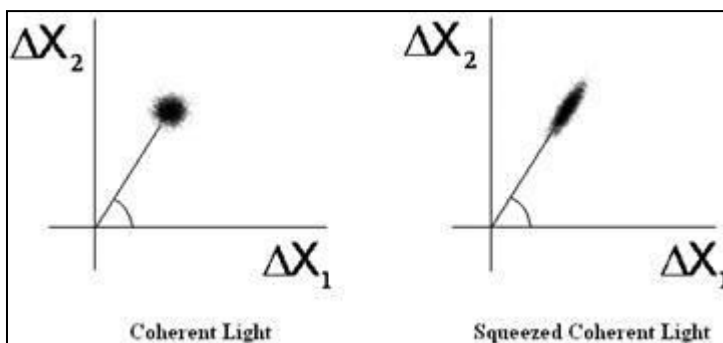
<http://physics.wm.edu/~inovikova/prsqeezing.html>

Jakýkoliv elektromagnetický signál je předmětem kvantové mechaniky. To znamená, že následkem Heisenbergova principu neurčitosti jakékoliv optické měření bude mít na svém vrcholu **šum** následkem kvantových fluktuací, dokonce když měříme vakuum samotné. Tyto meze mnoha měření, mající minimální nenulový šum, zvaný měňavý (shot) šum nebo standardní kvantová mez. Tato mez ovšem může být snížena použitím speciálního kvantového stavu světla, zvaného „stlačený (squeezed) stav.“ Stlačený stav ukazuje neklasickou statistiku, kde můžeme měřit hladiny šumu pod mezí shot šumu. Jestliže uvažujeme světlo v kvadrurním obrazu, kde elektrické pole je vyjádřeno  $E(x,t) = X_1(x,t) \cos(\omega t) + X_2(x,t) \sin(\omega t)$ , můžeme měřit kvadraturu  $X_1$  a  $X_2$  nezávisle. Pro klasická pole, např. koherentní lasery nebo vakuum šum těchto kvadratur je roven a je menší než mez shot šum. Ale pro stlačené stavy můžeme „stlačit“ šum kvadratury, kterou měříme, zatímco „stlačení“ jiných kvadratur je v kompenzaci [příslušně větší].

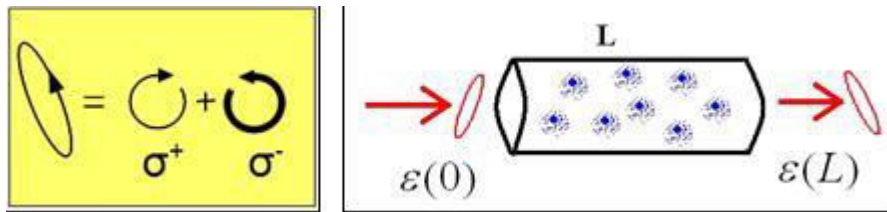
Hlavním zdrojem stlačení ...je nelineární interakce světlo-atom, zvaná **polarizační samo-**

**rotace**. Polarizační samo-rotací (PSR) jev se vyskytuje, když se elipticky polarizované světlo šíří atomickým prostředím (v našem případě parami  $^{87}\text{Rb}$ ), což způsobuje explicitní rotaci osy.

<https://www.cojeco.cz/starkuv-jev>: Starkův jev: (Š-, podle J. Starka), posuv a rozštěpení atomových energetických hladin (v plynech, kapalinách i pevných látkách) a jim odpovídající posuv a rozštěpení spektrálních čar vlivem vnějšího či vnitřního elektrického pole.



Obr. 9. Převzatý. Koule neurčitosti představuje šum v signálu v porovnání se svou amplitudou a fázovým úhlem. Pro stisknutý stav je koule stlačena v jednom směru a natažena v druhém směru.



Obr. 18. Převzatý. Osa elipsy téměř rezonančního světla může rotovat při svém šíření atomickým prostředím [parami Rb].

### Nadsvětelné šíření stlačení

**Elektromagnetická vlna** může být klasicky popsána amplitudou a fází, ale na kvantové úrovni je to tok fotonů. To ji dělá předmětem kvantových fluktuací – neurčitostí v amplitudě a ve fázi. Typický laboratorní laser bude produkovat paprsek, který může být přesněji popsán jako koherentní stav světla s minimem neurčitosti. Jakékoliv měření, dané koherentním stavem světla bude vykazovat minimum neurčitosti, máje tzv. shot (měňavý) šum. Existuje mnoho měření, kde to je omezujícím činitelem. Ale naštěstí existuje způsob redukce šumu pod mez shot šumu.

Koherentní stav světla má stejné neurčitosti v amplitudě a ve fázi. Jejich produkt musí být roven nebo větší než minimální hodnota  $\frac{1}{4}$ . Ale neexistují žádné meze v hodnotě každé jednotlivé kvadratury. Takže můžeme např. redukovat amplitudový šum na účet rostoucího šumu fáze. Jestliže neurčitost jedné kvadratury je pod tuto mez koherentního stavu, stav se nazývá stlačený. Studujeme zvláštní druh stlačených stavů, zvané vakuové stlačené stavy, které mají nulovou střední amplitudu. Pro neurčitosti stlačených vakuových stavů v amplitudě a fázové ztrácejí svůj význam, a my mluvíme o neurčitostech v kvadraturách  $X1$  a  $X2$ .

Je dobře známo, že můžeme použít rezonanční prostředí, které vykazuje mimořádný rozptyl a vytváří nasvětlené klasické signály (signály s grupovou rychlostí  $v_g > c$  nebo  $v_g < 0$ ). **Není** ovšem jasné z teoretického hlediska, zda je možné pozorovat **nadsvětelné** šíření stlačeného vakuového stavu (kvantového pole).

Potvrďme pochybnosti o nadsvětelné grupové rychlosti, při níž by grupa signálů doletěla **před** jejich vysláním (jak určuje vztah  $v_g < 0$ ). Raději si všimněme, že v textech se vyskytnou porovnání stlačeného světla se stlačením samotného vakua. K odvození, že „vakuum“ **je** **elektromagnetické** vlnění („světlo“ v nejširším významu) je jenom krůček. Tak bychom potvrdili oprávněnost nadpisu „Manipulace vakuem“. Ostatně i vakuum může být polarizované! Jde tedy jen o metody, jimiž bychom polarizaci vakua i jeho stlačení uskutečnili. Bude to patrně možné pomocí EM vlnění o frekvenci, která bude rezonovat s frekvencí základních fotonů („virtuálních“, kosmonů), které jsou „stavebními prvky“ základního vlnění čili vakua. Kvantový šum, charakterizující tuto základní entitu, není pouze „střední“, ale jeho hodnoty se mohou lišit – až dramaticky. Jinak řečeno, fluktuace „vakua“ budou značně rozdílné. Rozdíly ale nebudou tak velké, aby z jedné obrovsky velké fluktuace „vytryskl“ nový vesmír. Vznik našeho vesmíru se takovou obrovskou fluktuací vysvětluje – ale to je přinejmenším přehnané.

\*

Na závěr připojuji malý výběr z jedné panelové diskuze, který naše myšlenky podporuje obecně.

### Panelová diskuse:

**Jsou elektrony oscilující fotony, oscilující „vakuum“ nebo něco jiného?**  
(PDF) [Are electrons oscillating photons, oscillating "vacuum," or ...](#); Zář 2015

### Porozumění hádance prostoru a energie

(Chip) Charles Akins – AE Research

1. *Jeví se, že euklidovský 3rozměrný prostor je základní a čas je vytvořen „rychlostí světla“, šířením energie v prostoru. Podle mě se jeví, že úvaha o „prostorochasu“ jako 4rozměrném rámci, způsobuje **chybu** v našem základu, což vede k **neporozuměním**, k souboru **neslučitelných** závěrů.*
2. *Požaduje se nový soubor polních rovnic, které rozpoznají, že [fyzikální, kosmický] prostor je **3rozměrný** a že rychlost šíření energie (světla) je „upevněna“ v homogenním světě. To přináší špatná i správná řešení polních rovnic, vysvětluje vnímaný „spin“ „fotonů“ a polarizační vlastnosti světla. Stejně jako „Poincareho“ a jiné omezující síly.*
3. *Prostor je prostředí, které řídí veškerou energii ve vesmíru. **Prostor** [fyzikální, kosmický] **obsahuje veškerou energii**. Tudiž přesně zní, že bychom uvažovali, že prostor může působit jako absorbér energie a že interakce částice-částice není požadována pro zachování energie ve vesmíru. Takže jev emise-absorpce může být mezi částicemi nebo atomem a prostorem. Prostor je **kontejner energie**. Prostor není jen oblast mezi částicemi, ale je obsahem vesmíru, prostupující a udržující veškerou energii a tudíž hmotu. Hmotu **nemůže existovat bez struktury prostoru**, aby ji nesl.*
4. *Při dané **nebodové** povaze částic a „spinu“ z nových polních rovnic jeví, že propletení je iluze.*
5. *Fermionické částice jsou omezené, cirkulující **konfigurace energie** v prostoru. Pole a síly [interakce] jsou výsledkem vlastností, nahrazení, topologie a výsledných „polarizací“ **prostoru**. Ale snad je poučnější tvrdit, že síly jsou výsledky topologie částic a vlastnosti **prostoru**. Jinými slovy, složitost a vlastnosti prostoru jsou **dostačující** pro schopnost udržovat elektrické, magnetické, slabé, hraniční a silné síly a jako stranou, gravitaci.*
6. *Gravitace je **změna** v ekvivalenci hmotnosti (hustoty  $\rho$ ) **prostoru**, způsobená energií polí částic. Růst hustoty energie v sousedství částic způsobuje zobrazení mírně zvětšené hustoty, mírně zpomalující rychlost světla, způsobující **gravitační sílu**.*
7. *Jakákoliv energie prostoru zobrazuje vlastnosti podobné hmotnosti ve struktuře prostoru.*

Z dalších příspěvků vyberu – kvůli rozvlácnosti a nepatrné závažnosti článků – jen některé nadpisy:

**Elektron je šroubovitě cirkulující spin  $\frac{1}{2}$  nabitého fotonu, generující de Broglieho vlnovou délku** (Richard Gauthier),

**Další úroveň sjednocení: Vlny a částice jako vynořující se oscilace téhož pole komplexního napětí (CTF)** (Chandrasekhar Roychoudhuri)

\*\*\*