

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Lubomír Sodomka  
Hold kvantové fyzice

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 88 (2013), No. 4, 24–29

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146546>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2013

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://dml.cz>

## Hold kvantové fyzice

*Lubomír Sodomka, Adhesiv, TUL Liberec*

**Abstract.** The paper shows the importance and value of quantum physics in new science technologies and technique. This fact was also confirmed in 2012 when Serge Haroche and David J. Wineland were awarded the Nobel Prize in physics: “for ground-breaking experimental methods for measuring and manipulation of individual quantum system”.

### Úvod

Do kvantové fyziky dnes zahrnujeme kvantovou mechaniku, kvantovou optiku a kvantovou elektrodynamiku. Kvantová fyzika je produktem první poloviny 20. století. Na její základní formulaci se podíleli E. Schrödinger, W. Heisenberg, P. Dirac, R. Feynman a mnoho dalších fyziků. Kvantová fyzika má svou prehistorii i historii, zvláště pokud jde o výklad vlnové funkce, která popisuje stav částice. Podrobnější poučení lze najít v četné české literatuře jak v přehledu [1], tak i v monografii [2].

Zpočátku kvantovou fyziku řada významných fyziků nepřijala a byl mezi nimi i A. Einstein. Vadil mu její statistický charakter, což vyjádřil větou „Bůh nehraje v kostky.“, aby dal najevo svůj odpor proti pravděpodobnostnímu chápání vlnové funkce (hodnota vlnové funkce pro danou částici v daném bodě určuje pouze pravděpodobnost jejího výskytu v daném místě).

Výkladu vlnové funkce se věnovala řada fyziků známých jmen, např. N. Bohr, M. Born, P. Jordan, E. Fermi, R. Feynman, kteří za své objevy na poli kvantové mechaniky byli oceněni Nobelovou cenou za fyziku. Naproti tomu řada fyziků kvantovou fyziku nedocenila a v řadách filosofů způsobila kvantová fyzika problém, jak ji vyložit z hlediska pohledu na svět – někteří se pomocí ní dokonce pokusili vysvětlit existenci Boha.

Přes obrovské úspěchy kvantové fyziky při výkladu fyzikálních jevů (např. fotoelektrický jev) měla vlnová funkce více méně jen abstraktní význam při matematickém popisu jevů. Byly ale navrhovány experimenty, které by její existenci prokázaly.

Experimentálnímu důkazu kvantové fyziky se od jejího objevu věnovala dlouhodobě řada fyziků, mimo jiné i Serge Haroche a David J. Wineland, kteří získali za své práce Nobelovu cenu za fyziku pro rok 2012.

## Nobelova cena za fyziku 2012

Po dlouhou dobu byla kvantová fyzika ověřována více myšlenkovými pokusy než experimentem. Teprve v posledních desetiletích se začaly vytvářet elektronové a fotonové pasti, byly dosaženy supernízké teploty, objevila se celá řada nových „kvantových“ jevů. Mohlo se začít s experimenty prokazujícími přímo platnost kvantových představ. Nobelova cena za fyziku (NCF) pro rok 2012 byla udělena právě za experimentální ověření kvantových jevů v procesech měření a ovlivňování kvantových vlastností částic hmoty a záření. Nezávislé výzkumy obou laureátů NCF přinesly experimenty umožňující izolaci jednotlivých částic atomů, iontů, elektronů a fotonů, přispěly k objasnění paradoxů kvantové mechaniky.

Dlouhodobě byla nepřístupná experimentálnímu zobrazení a přímému měření vlnová funkce. Využitím atomové silové mikroskopie (ATM) a Fourierovy transformace tohoto obrazu byly získány přímé projevy vlnové funkce na povrchích kovů. Experimentální důkaz existence vlnové funkce je možné provést i neutronovou difrakcí [4, 5, 6].

### *Uchování oddělených částic, elektronů a fotonů*

Jedním z prvních kroků pro pokusy s kvantovými vlastnostmi částic, jako jsou ionty, atomy, elektrony či fotony, je jejich izolace v odděleném uzavřeném prostoru (jámě, prohlubni) a zamezení jejich interakci s okolím. Pro hmotné kvantové částice, jako jsou atomy, ionty, elektrony apod., je to tzv. „kvadratické past“, v níž částice tvoří kvantový harmonický oscilátor. V této kvadratické pasti může setrvávat částice na každé z energetických hladin při nízké teplotě bez vnějšího působení „neomezenou“ dobu, reálně pak relativně dlouhou dobu, a může sloužit k manipulaci vnějším působením (obr. 1). Při více částicích je třeba, aby byly částice oddělené (obr. 2).\*)

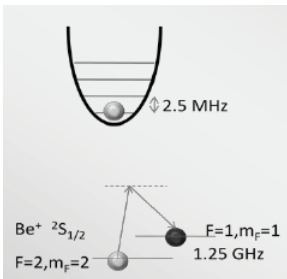
Manipulaci s energií částic v pasti lze tedy provádět vnějším působením, což vede ke změně energetického stavu částice (obr. 3). Přechod se stimuluje laserem, záření z oscilátoru je možné pozorovat pouhým okem nebo snímat CCD kamerou.

Zatímco Wineland prováděl experimenty s atomy (ionty) v potenciálových pastích působením laserového záření, experimentoval Haroche působením vnějších atomů na záření v dutinách. Individuální fotony jsou zachycované v dutině rezonátorů a studované prostřednictvím interakce s ionty (obr. 4).

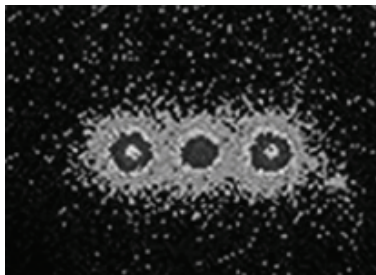
---

\*) Obr. 1–5 jsou převzaty z [10].

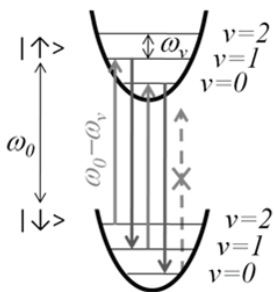
## HISTORIE



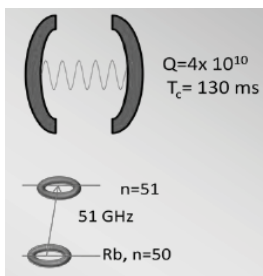
Obr. 1: Kvantový oscilátor jako past „kvantové“ částice



Obr. 2: Oddělené částice v pasti

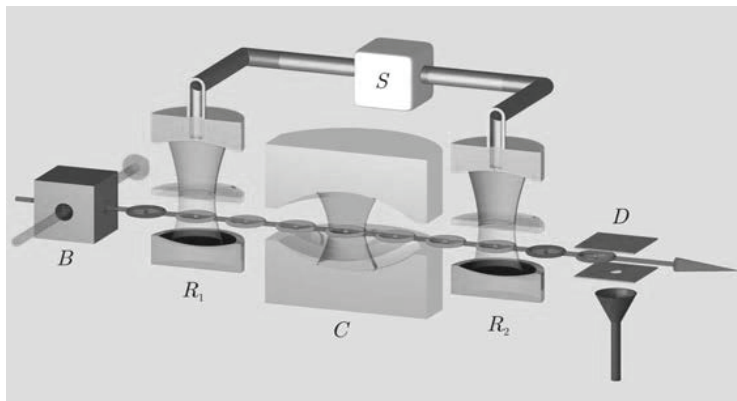


Obr. 3: Přechod částice mezi dvěma hladinami



Obr. 4: Foton v rezonátorové pasti

Hlavní částí Harocheových pokusů je rezonanční dutina  $C$  (obr. 5) vytvořená dvěma polokulovými zrcadly ze supravodivého materiálu (Nb) a chlazená na nízkou teplotu – asi 0,8. Vysoká kvalita rezonanční dutiny způsobuje poměrně dlouhou dobu existence fotonů (asi 130 ms) v rezonanční dutině a ovlivňování fotonu vnějšími atomy či ionty. Za uvedenou dobu proběhne foton dráhu  $4 \cdot 10^7$  m, než zanikne. Zářivé pole v dutině je pak zjišťované atomy Rb v kvantovém stavu daném kvantovými čísly  $n = 50$ ,  $l = 49$ . Přechod ze stavu  $n = 50$  do  $n = 51$  má stejnou energii jako infračervené záření v dutině o frekvenci 51 GHz. Dutiny  $R_1$  a  $R_2$  slouží k vyhodnocování interference záření obou energetických stavů. Ionizační detektor slouží k určování stavu atomu působícího na foton v dutině. Koherentní záření je přivedené vlnovody k interferenci v dutině  $S$ .



Obr. 5: Harocheovo experimentální uspořádání k interakci foton–iont

### *Experiment a paradox Schrödingerovy kočky*

Ústřední otázkou kvantové fyziky zůstává otázka přechodu z „kvantového světa“ do světa reálného.

Kvantová fyzika popisuje stav částice pomocí tzv. vlastní funkce, zahrnující všechny možné stavy částice – vlastní funkce je složena z vlastních funkcí jednotlivých stavů částice. Pokud částici pozorujeme, dojde k tzv. kolapsu vlastní funkce a částice se ocitne právě v jednom z možných stavů.

Aby poukázal na problémy, které aplikací kvantových jevů na objekty reálného světa vzniknou, navrhl v roce 1935 Schrödinger myšlenkový pokus, nazývaný paradox Schrödingerovy kočky [3]. Kočka uzavřená v neprůhledné krabici s dalším zařízením, které může, ale nemusí, způsobit její smrt, může být v jednom ze dvou stavů (mrtvá kočka, živá kočka). Vlastní funkce, která popisuje stav kočky v krabici, je složena stejnou měrou z vlastní funkce živé kočky a vlastní funkce mrtvé kočky. Skutečnost zjistíme až po otevření krabice, kdy dojde ke kolapsu vlastní funkce kočky a kočka se ocitne v jednom z možných stavů. Je ale kočka v krabici „živomrtvá“, resp. „mrtvoživá“? Podle kvantové fyziky ano. Schrödinger tím chtěl ukázat nesmyslnost aplikace kvantových jevů na objekty reálného světa.

Wineland a Haroche nahradili kočku kvantovým oscilátorem (obr. 1) s atomem nebo iontem a vnějším působením laserem (Wineland) nebo dutinou s vlněním a vnějším působením atomem či iontem (Haroche). Dva stavy kočky jsou nahrazeny stavy kvantového oscilátoru.

### *Superrychlé počítače a nejpřesnější optické atomové hodiny*

Manipulace s částicemi připravily základy pro stavbu ultrarychlých počítačů. Na základě pokusů Winelanda a Harocheho byl podán návrh na konstrukci superrychlých kvantových počítačů a přesnějších optických atomových hodin, než jsou současné hodiny cesiové, využívajících mikrovláknového záření. Přechodem na světelné či ultrafialové záření se zvýší přesnost atomových hodin až o dva řády, tj. na hodnotu  $10^{-17}$ , a mohou se tak stát novým časovým normálem.

### *Vliv kvantové fyziky na současnou technologii*

Kvantová fyzika se uplatňuje nepřímou v moderní technice a technologii, jako jsou např. mobilní telefony, počítače, technologie nanovláken, zvláště pak uhlíkových trubiček a grafenů. V budoucnu je potřeba tuto účinnou fyziku dostat co nejdříve do řad nanotechnologií [7]. Podrobnější informace pro zájemce o NCF lze získat v [8].

### **Některé životopisné údaje nobelistů 2012**

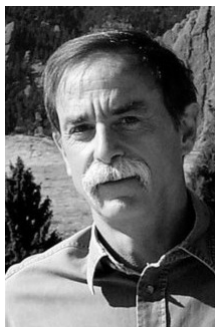
*Serge Haroche* je francouzským občanem narozeným v roce 1944 v Casablance, Moricci. Doktorát PhD získal v roce 1971 na Univerzitě Pierra a Marie Curiových v Paříži. V současné době působí jako profesor na College de France a na Ecole Normale Superieure v Paříži.

*David J. Wineland* je občanem USA. Narodil se v roce 1944 v Milwaukee, MI, USA. Doktorát PhD získal v roce 1970 na prestižní Harvardské univerzitě. V současné době pracuje jako vedoucí skupiny Národního Institutu Standardů a Technologie (NIST) a na Kolorádské univerzitě v Boulderu v USA.

Podrobnější údaje lze získat např. na stránkách [8, 9].



Obr. 6: S. Haroche



Obr. 7: D. J. Wineland

## Všechny udělené Nobelovy ceny za rok 2012

Pro úplnost informací o Nobelových cenách uvedeme ještě na doplnění stručně ostatní Nobelovy ceny:

*Nobelova cena za fyziku.* Haroche, S., Wineland, D. J.: Za základní a výrazné experimentální metody umožňující měření a manipulaci s jednotlivými kvantovými soustavami

*Nobelova cena za chemii.* Lefkowitz, R. J., Kobilka, B. K.: Za studie G proteinových vázaných receptorů

*Nobelova cena za fyziologii a medicínu.* Gurton, J. B., Yamanaka, S.: Za objev skutečnosti, že zralé buňky lze přeprogramovat ze speciálních na všeobecné

*Nobelova cena za literaturu.* Mo Yan: Za spojení halucinogenního realismu s lidovou tvorbou, historií a současností

*Nobelova cena za mír.* Evropská unie: Za šedesátileté působení ve prospěch míru, demokracie a lidských práv

## Literatura

- [1] Karjakin, K. I., et al.: *Přehled fyziky, Kap.7: Základy kvantové mechaniky.* SNTL, Praha, 1970.
- [2] Blochincev, D. I.: *Základy kvantové mechaniky.* NČAV, Praha, 1956.
- [3] google: Schödingerova kočka/Schödinger cat
- [4] Sodomka, L., Fiala, J.: *Fyzika a chemie kondenzovaných látek s aplikacemi 1, 2.* Adhesiv, Liberec, 2003.
- [5] Briner, B. G., et al.: Looping at electronic wave function on metal surfaces. *Europhysics news* **28**, č. 5/6 (1997), s. 149.
- [6] Rauch, H.: Neutron as quantum objekt. *Europhysics news* **28** (1997), s. 10.
- [7] Sodomka, L.: *Základy fyziky pro aplikace a nanotechnologii. Díl 2: Kvantová mechanika.* Adhesiv, Liberec, 2012, CD.
- [8] "All Nobel Prizes in Physics". Nobelprize.org. Nobel Media AB 2013. Web. 10 Dec 2013. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/)
- [9] "The Nobel Prize in Physics 2012 – Advanced Information". Nobelprize.org. Nobel Media AB 2013. Web. 10 Dec 2013. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2012/advanced.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2012/advanced.html)
- [10] [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/2012/advanced-physicsprize2012\\_02.pdf](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2012/advanced-physicsprize2012_02.pdf)