1/2015

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS

# PRO FYZIKU®

Nobelovy ceny 2014
za chemii: mikroskopy
za fyziku: modré LED

Nobelovské přednášky
k cenám uděleným
v roce 2013:
Higgsův boson

Listopadová revoluce
ve fyzice vysokých
energií

Jaroslav Heyrovský:
rané a pozdní
práce

Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, v. v. i., Praha
http://ccf.fzu.cz

svazek 65

ČESKOSLOVENSKÝ ČASOPIS
PRO FYZIKU
1/2015

Založen roku 1872 jako
„Časopis pro pěstování mathematiky a fysiky“
Vydává Fyzikální ústav Akademie věd
České republiky, v. v. i.
Vychází 6 čísel ročně,
uzávěrka tohoto čísla: únor 2015

Founded in 1872 as „Časopis pro pěstování mathematiky a fysiky“ "The Journal for Cultivation of Mathematics and Physics"
Published bimonthly in Czech and Slovak by
Institute of Physics, v. v. i.
Academy of Sciences of the Czech Republic

**Vedoucí redaktor – Editor-in-Chief:**
Libor Juha

**Oborový redaktoři – Associate Editors:**
Pavel Cejnar, Michal Fárník, Jiří Limpouch, Peter Lukáč, Jan Mlynář, Karel Rohlena, Patrik Španěl, Jan Valenta, Vladimír Wagner

**Redakční rada – Editorial Board:**
Ivo Čáp, Pavel Demo, Antonín Fejfar, Ivan Gregora, Eva Klimešová, Jan Kříž, Petr Kulhánek, Štefan Lányi, Jana Musilová, Martin Orendáč, Fedor Šimkovic, Aleš Trojánek

**Sekretariát redakce – Editorial Office Administration:**
Jana Tahalová, Marek Šípek
Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i.
Na Slovance 2, 182 21 Praha 8
tel.: 266 052 152, fax: 286 890 527
e-mail: cscasfyz@fzu.cz, http://ccf.fzu.cz

**Jazyková úprava:**
Stanislava Burešová, Lýdia Murtinová

**Technický redaktor, grafik a výroba:**
Ⓐ Jiří Kolář

**WWW stránky:** Matěj Bulvas

**Tisk:** Grafotechna Print, s. r. o.

Cena jednoho výtisku je 85 Kč
při odběru v prodejnách nebo v redakci.
Objednávky a prodej jednotlivých čísel
v ČR vyřizuje redakce.
Na Slovensku časopis rozšiřuje
Jednota slovenských matematikov a fyzikov,
pobočka v Žiline, Ul. 1. mája 32, 010 01 Žilina,
e-mail: ivo.cap@fel.uniza.sk
Distribution rights in foreign countries:
Kubon & Sagner, PO Box 240108,
D-8000 München 34

Časopis je od 31. 1. 2014 zařazen na Seznam recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.
Registrace: MK ČR E 3103,
ISSN 0009-0700 (Print),
ISSN 1804-8536 (Online).
Copyright © 2015
Institute of Physics of the ASCR, v. v. i.

# Editorial

Vážení čtenáři,

číslo otevírají dvě aktuality o Nobelových cenách udělených v roce 2014 za úspěšný vývoj modrých svítivých diod (LED – light emitting diode). První akcentuje materiálové aspekty problému, druhá vyšetřuje modré LED jako fotonický prvek. Následuje aktualita o technikách, kterými soudobé mikroskopy překonávají učebnicové limity optické mikroskopie. Tyto postupy byly oceněny Nobelovou cenou za chemii 2014. Ve zkratce podávají Michal Lenc a Tomáš Tyc základní principy určující mez rozlišení mikroskopů různých typů.

V šestém čísle ročníku 2013 našeho časopisu přinesl Tomáš Blažek stručnou informaci o Nobelových cenách udělených za fyziku v roce 2013 belgickému teoretikovi Françoisovi Englertovi a britskému badateli Peteru W. Higgsovi za „teoretický objev mechanismu, který přispívá k našemu porozumění původu hmotnosti subatomárních částic a který byl nedávno potvrzen objevem takto předpovězené elementární částice experimenty ATLAS a CMS na urychlovači Large Hadron Collider v CERNu“. V tomto čísle naleznete překlad nobelovských přednášek, v nichž laureáti popisují cestu, kterou se dobrali oceněných výsledků, proslov Petera W. Higgse na banketu u příležitosti udělení Nobelovy ceny, biografie obou fyziků a rozhovor s Françoisem Englertem pořízený telefonicky těsně po udělení ceny.

Rubrika „Historie fyziky“ obsahuje dva původní příspěvky. Jan Hladký referuje o tzv. listopadové revoluci ve fyzice elementárních částic. Jiří Jindra přichází s detailním přehledem o počátku a závěru kariéry Jaroslava Heyrovského – zatím jediného našeho laureáta vědecké Nobelovy ceny.

Jako dokument předkládáme podkapitolu o „drobnohledech“ uveřejněnou v první české novodobé učebnici optiky, jejímiž autory jsou Čeněk Strouhal a Vladimír Novák. Je posledním příspěvkem v sérii textů věnovaných v tomto čísle mikroskopii a mezím jejího rozlišení.

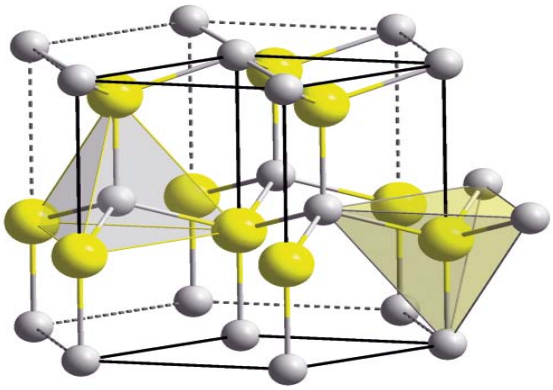
V rubrice „Mládež a fyzika“ přinášíme úlohy o LED z mezinárodních fyzikálních olympiád, jak je přeložili, vyřešili a pro náš časopis upravili Jan Kříž, Filip Studnička, Ľubomír Konrád a Bohumil Vybíral. Následuje zpráva Alice Hospodkové o laboratoři LABONIT zřízené k přípravě, studiu a využití nitridových materiálů a struktur. Číslo uzavírá obsah a autorský rejstřík sv. 64 (2014), tedy loňského ročníku časopisu.

*Libor Juha*
*vedoucí redaktor*

# Obsah

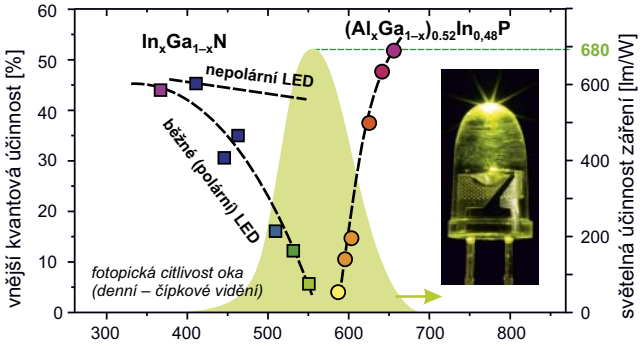

## AKTUALITY

Nitrid gallia – nobelovský materiál 4
Josef Stejskal, Jindřich Leitner a Zdeněk Sofer



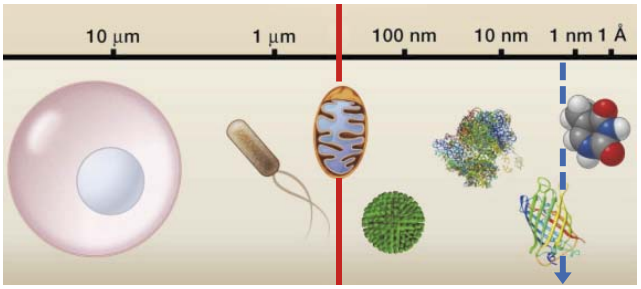
## AKTUALITY

Modré svítivé diody na bázi GaN jako základ revoluce osvětlovací techniky 7
Jan Valenta, Ivan Pelant



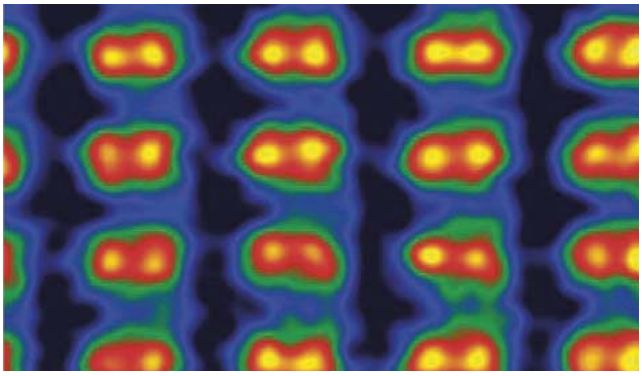

## AKTUALITY

Světélkující molekuly a mikroskopie za hranicí svých možností: Nobelova cena za chemii 2014 11
Martin Vácha



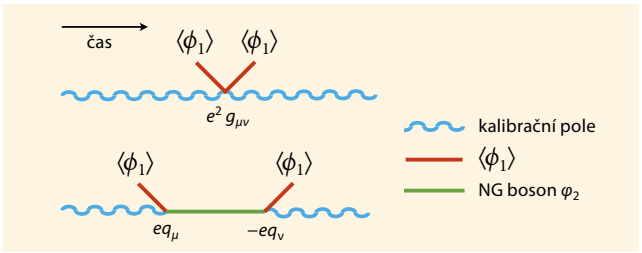

## VE ZKRATCE

Mez rozlišení mikroskopu 15
Michal Lenc, Tomáš Tyc



## REFERÁTY

Mechanismus BEH a jeho skalární boson 18
Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2013
François Englert




## REFERÁTY

Jak uniknout Goldstoneovu teorému 25
Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2013
Peter W. Higgs

**Obrázek na obálce:** LED kostým pro profesionální performery vytvořený umělcem Beo Beyondem. (Zdroj: Wikimedia Commons) Více na str. 7–10.
**Menší vložený obrázek:** Zlatá medaile Nobelovy ceny s reliéfním obrazem Alfreda Nobela v profilu. Více na str. 18–31.

## NOBELOVA CENA ZA FYZIKU


Proslov Petera Higgse na banketu u příležitosti udělení Nobelovy ceny 28

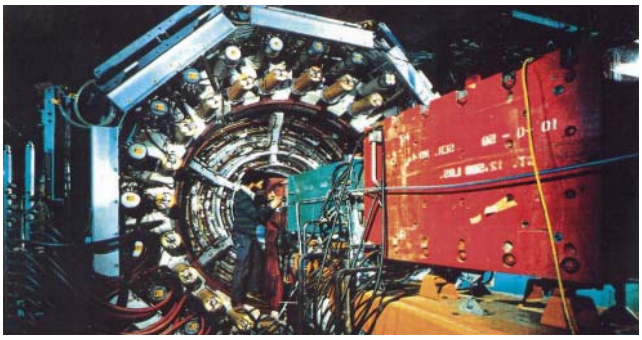
François Englert – životopis 28

Peter Ware Higgs – životopis 30

Interview s Françoisem Englertem 31


## HISTORIE FYZIKY


40 let listopadové revoluce
aneb jak byl objeven skrytý půvab 32
**Jan Hladký**

## HISTORIE FYZIKY

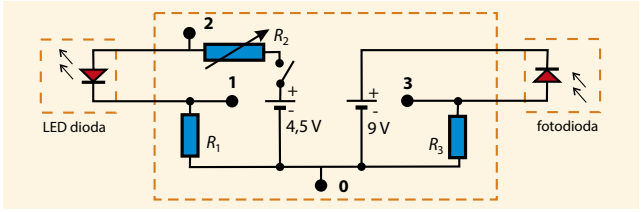

Horečné tříletí a poslední rok života Jaroslava Heyrovského 38
**Jiří Jindra**

## DOKUMENTY


Drobnohledy 45
**Čeněk (Vincent) Strouhal, Vladimír Novák**

## MLÁDEŽ A FYZIKA


Účinnost LED diod v úlohách Mezinárodní a Světové fyzikální olympiády 53
aneb co je Světová fyzikální olympiáda WoPhO
**Jan Kříž, Filip Studnička, Ľubomír Konrád, Bohumil Vybíral**


## ZPRÁVY


LABONIT 58
Nová technologická laboratoř pro přípravu a charakterizaci nitridových polovodičových nanoheterostruktur
**Alice Hospodková**

Obsah a autorský rejstřík Čs. čas. fyz. sv. 64 (2014) 61

Pravidla pro autory při tvorbě příspěvků do Čs. čas. fyz. 14

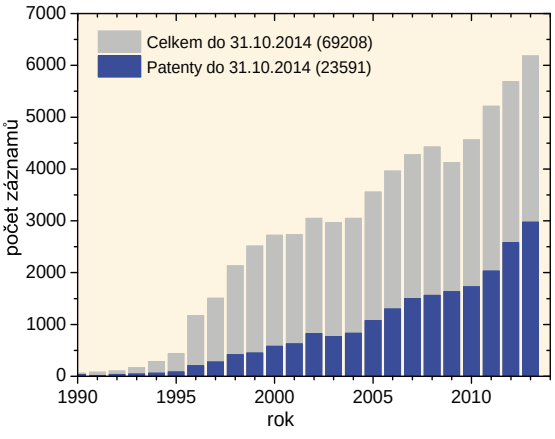
# Nitrid gallia – nobelovský materiál

**Josef Stejskal, Jindřich Leitner a Zdeněk Sofer**

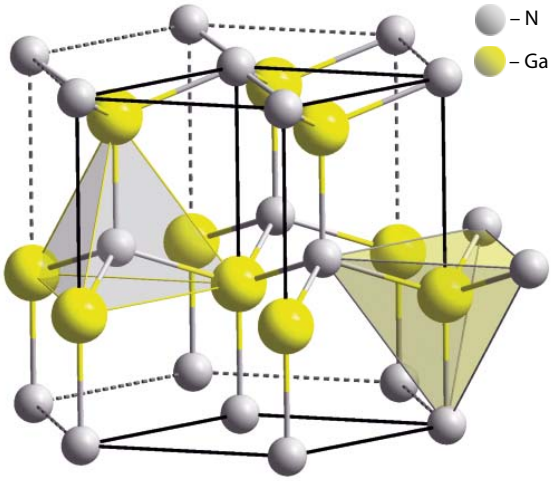
Fakulta chemické technologie, VŠCHT Praha, Technická 5, 166 28 Praha 6-Dejvice; Josef.Stejskal@vscht.cz

Nobelova cena za fyziku 2014 míří do Japonska a do USA za realizaci modře emitující diody (LED). Ocenění za tento objev patří japonským vědcům Isamu Akasakimu, Hiroshimu Amanovi a Shujimu Nakamurovi, který od r. 1999 žije trvale v USA. Rozsvícení této pevnolátkové modře emitující diody na bázi nitridu gallitého (GaN) však předcházel intenzivní základní i aplikovaný výzkum především v oblasti přípravy a charakterizace samotného materiálu, u kterého stáli, kromě řady dalších, právě výše uvedení „nobelisté“ [1]. Pokusme se proto zde krátce zrekapitulovat onu výzkumnou a vývojovou cestu od přípravy GaN požadovaných strukturních a elektrických parametrů až po konstrukci modře svítící diody a později i laseru. Rostoucí zájem o GaN, který akceleroval v poslední dekádě minulého století a trvá dodnes, si ilustrujme počtem publikací a patentů evidovaných v databázích amerického bibliografického systému *SciFinder* (obr. 1).

Historii výzkumu nitridu gallitého lze sledovat od čtyřicátých let minulého století, kdy Juza a Hahn [2] připravili zahříváním gallia v proudu amoniaku krystalický GaN, popsali jeho krystalovou strukturu a určili mřížkové parametry. Za atmosférického tlaku je termodynamicky stabilní hexagonální modifikace GaN (strukturní typ wurtzitu, viz obr. 2), ve které každý atom Ga vytváří čtyři vazby s atomy N o délce cca 0,197 nm. Později byly experimentálně i teoreticky studovány i další strukturní formy GaN, zejména kubické polymorfy strukturního typu sfaleritu (tetraedrická koordinace atomů) a halitu (oktaedrická koordinace atomů). Na základě teoretických výpočtů byl stanoven tlak fázové transformace GaN(wurzit) → GaN(halit) v rozmezí 35–45 GPa. Při zahřívání na teploty nad cca 1 000 °C dochází k rozkladu (inkongruentnímu tání) hexagonálního GaN za vzniku kapalného gallia a plynného dusíku.




**Obr. 1** Počty všech záznamů (publikace + patenty) a počty patentů vedených v databázích *SciFinder* pro GaN. *CAS Registry Number 25617-97-4*




**Obr. 2** Struktura wurtzitu. *Převzato z http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wurtzite_polyhedra.png*

Aplikace materiálů na bázi GaN je jak v elektronice, tak ve fotonice podmíněna přípravou tenkých ($10^{-2}$ až $10^{0}$ μm tlustých) monokrystalických, vysoce čistých nebo záměrně dotovaných vrstev s elektronovou i děrovou vodivostí (n-typ, resp. p-typ). Kombinací těchto vrstev vhodné tloušťky, typu vodivosti a šíře zakázaného pásu energie vznikají struktury požadovaných elektrických a optických parametrů, vhodné pro různé aplikace. První polykrystalické a později i monokrystalické vrstvy GaN vodivosti typu n na podložkách ze safíru připravili Maruska a Tietjen [3] v laboratořích RCA v r. 1969. K přípravě použili tzv. hydridový systém (HVPE), kde zdrojem dusíku byl plynný amoniak a plynné chloridy gallia jsou generovány přímo v reaktoru reakcí gallia s plynným chlorovodíkem. V sedmdesátých letech minulého století byly touto technologií připraveny nedotované i dotované (zejména hořčíkem) epitaxní (monokrystalické) vrstvy GaN na různých substrátech. Zbytková koncentrace nositelů náboje u nedotovaných vrstev však byla vysoká (řádově $10^{19}$ $cm^{-3}$) a vrstvy dotované hořčíkem byly pouze semiizolační.

Nobelova cena za fyziku 2014

# Modré svítivé diody na bázi GaN jako základ revoluce osvětlovací techniky

**Jan Valenta[1], Ivan Pelant[2]**

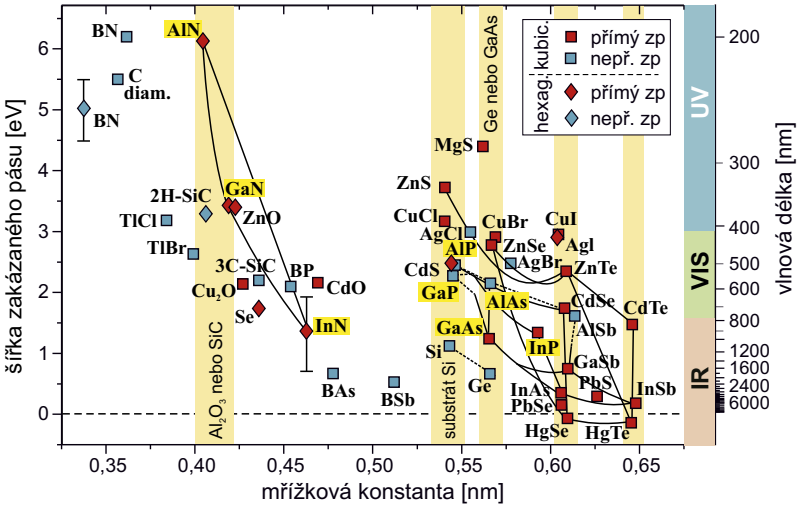
[1] Katedra chemické fyziky a optiky, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, Ke Karlovu 3, 121 16 Praha 2; jvalenta@karlov.mff.cuni.cz
[2] Oddělení tenkých vrstev a nanostruktur, Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Cukrovarnická 10/112 , 162 00 Praha 6; pelant@fzu.cz

Nobelovská komise zdůvodnila udělení Nobelovy ceny za fyziku pro rok 2014 třem japonským vědcům slovy „*za vynález účinných, modré světlo emitujících diod, které umožnily vznik jasných a energeticky úsporných zdrojů bílého světla*“, čímž přímo splnila přání Alfreda Nobela, aby byly ceny udělených osobám, které vykonaly „*nejvýznamnější objev nebo vynález ...*“ a tím „*nejvíce prospěly lidstvu*“. Ačkoliv výroba účinné modré LED nebyla, striktně vzato, vynálezem (natož objevem), ale „jen“ vývojem existujících technologií a známých principů, zcela nesporně má velký dopad na pokrok lidstva.

Vlastní „chemicko-technologická“ stránka vývoje modrých LED na bázi GaN je popsána v předchozím článku Stejskala, Leitnera a Sofera; my se tedy můžeme zaměřit na otázku, jak bylo dosaženo účinné elektroluminiscence z GaN materiálů a jaký efekt to má na vývoj osvětlovací techniky.

Světloemitující diody (Light-Emitting Diodes = LED) jsou založeny na jevu *injekční elektroluminiscence* (EL), což je zářivá rekombinace elektronů a děr při injekci minoritních nosičů náboje v p-n přechodu polovodiče [1]. V této stručné zprávě nebudeme EL podrobněji rozebírat, ale soustředíme se pouze na dvě zásadní otázky: *Co ovlivňuje vlnovou délku emitovaného světla a jak dosáhnout co nejúčinnější přeměny elektrického proudu na světlo?*

Vlnová délka světla emitovaného z LED $\lambda_{em}$ je těsně spjata s šířkou zakázaného pásu $E_g$ polovodiče tvořícího p-n přechod, $\lambda_{em} \geq hc/E_g$ (kde $h$ je Planckova konstanta a $c$ je rychlost světla). Podobně prahové napětí $U_p$ nutné k „rozsvícení“ diody je $U_p \approx E_g/e$ (kde $e$ je elementární náboj). Z toho plyne, že pro výrobu LED emitující nějakou specifickou barvu musíme zvolit vhodný polovodič. Příroda nám sice poskytuje širokou paletu polovodičů (viz obr. 1), ale nikoliv dostatečnou. Proto měla zásadní význam práce prof. Nicka Holonyaka, který roku 1962 krátce po sestrojení prvních infračervených LED na bázi gallium arsenidu (GaAs) vytvořil první červenou LED ze směsného polovodiče $GaAs_{1-x}P_x$ ($x < 1$) – tím, navzdory skeptickým předpovědím, dokázal, že lze připravit dostatečně kvalitní krystaly směsných polovodičů a takto „ladit“ jejich vlastnosti (mezi nimi též vlnovou délku optické absorpce a emise) [2].




**Obr. 1** Přehled různých polovodičových materiálů, které byly více či méně zkoumány a popsány v odborné literatuře. Materiály jsou uspořádány podle parametrů nejdůležitějších pro tvorbu heterostruktur, tedy velikosti mřížkové konstanty a šířky pásu zakázaných energií (obojí hodnoty vztažené k pokojové teplotě). Čáry spojující různé sloučeniny naznačují možnosti vytvářet z těchto materiálů ternární či kvarternární směsi (slitiny). Béžové svislé pásy ukazují možnost depozice na nejběžnější substráty. Červené či modré symboly označují typ přímého či nepřímého pásu zakázaných energií. Čtverce a kosodélníky značí kubickou či hexagonální krystalovou strukturu. Žlutým podkladem jsou zvýrazněny materiály nejdůležitější pro výrobu LED. *Upraveno podle [11].*

Na těchto principech bylo možné v 60. letech vyvinout výrobu červených, zelených i žlutých LED, nikoliv však modrých. Proč byl s modrou LED takový problém? Důvodem je to, že polovodiče s dostatečně širokým zakázaným pásem buď nebylo možné připravit jako kvalitní monokrystaly (případ GaN), nebo vyrobené LED byly náchylné k tvorbě defektů (ZnSe), nebo se jednalo o neúčinně emitující polovodiče s nepřímým zakázaným pásem (SiC). Překonání těchto technologických problémů v případě GaN se nakonec ukázalo možným, ale podařilo se až po několika desetiletích soustředěného úsilí zásluhou oceněných japonských vědců (jak o tom pojednává článek J. Stejskala a kol.).

# Světélkující molekuly a mikroskopie za hranicí svých možností: Nobelova cena za chemii 2014

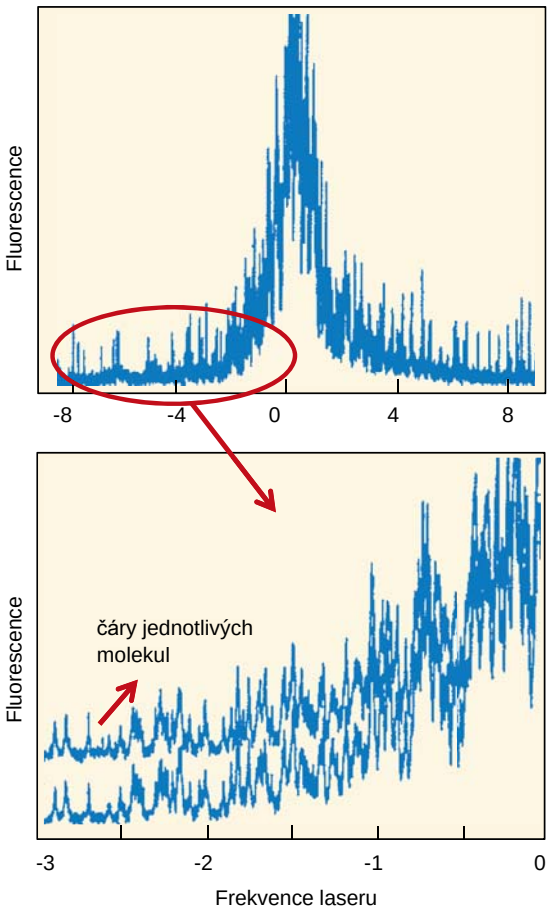
**Martin Vácha**

Tokijský technologický institut, Ookayama 2-12-1-S8-44, Meguro-ku, Tokio, 152-8552 Japonsko; vacha.m.aa@m.titech.ac.jp

V roce 2014 byla Nobelova cena v oblasti chemie udělena za objev a rozvoj fluorescenční mikroskopie s vysokým rozlišením. Cenu obdrželi W. E. Moerner ze Stanfordské univerzity, Eric Betzig z Lékařského institutu Howarda Hughese (HHMI) a Stefan W. Hell z Institutu Maxe Plancka pro biofyzikální chemii.

Rozlišení konvenční fluorescenční mikroskopie je omezeno difrakčními vlastnostmi světla, jak bylo nedávno podrobně vysvětleno v tomto časopise [1]. Představíme-li si vzorek, který bude sestávat z jednoho bodového (tj. nekonečně malého) zdroje světla, mikroskopický obraz takového předmětu nebude bod, ale difrakční obrazec na kruhovém otvoru, tzv. Airyho disk. Budou-li v předmětové rovině takové bodové zdroje světla dva a představíme-li si, že se navzájem přibližují, po překročení určité vzdálenosti se difrakční obrazce obou bodů překryjí a jako samostatné body je již nerozeznáme. Minimální vzdálenost bodů, při které jsou oba body ještě rozeznatelné, je potom definována jako rozlišení mikroskopu. Kritérium rozeznatelnosti může být individuální a i v mikroskopii je jich definováno více. Podle Rayleighova kritéria jsou body rozeznatelné, pokud intenzita světla v polovině jejich vzdálenosti nepřekročí 75 % intenzity v maximu. Podle Abbeho difrakční meze [1] je taková vzdálenost úměrná polovině vlnové délky světla a nepřímo úměrná numerické apertuře objektivu mikroskopu.

Vysoce rozlišená fluorescenční mikroskopie, jak byla oceněna Nobelovou cenou, ve skutečnosti zahrnuje dvě nezávislé a velmi odlišné metody, které mají společné to, že se pokoušejí difrakční obrazec zmenšit nebo obejít. První z nich je založena na metodě detekce a spektroskopie jednotlivých molekul. Tato metoda se objevila jako přirozené vyústění nízkoteplotních metod optické spektroskopie vysokého rozlišení, kterými byly např. metoda zužování čar ve fluorescenci (*fluorescence line narrowing*, FLN) nebo metoda vypalování spektrálních děr (*spectral hole burning*, SHB,




**Obr. 1** Excitační spektra molekul pentacenu v krystalu p-terfenylenu při teplotě 1,5 K. Upraveno z [6] se svolením.

viz [2]). Poprvé se o detekci jednotlivých molekul pokusil právě W. E. Moerner poměrně složitou metodou dvojité modulace v absorpci a podařilo se mu demonstrovat alespoň kvalitativně možnost měření spekter jednotlivých molekul pentacenu [3]. Tato práce nepochybně přispěla k ocenění W. E. Moernera coby

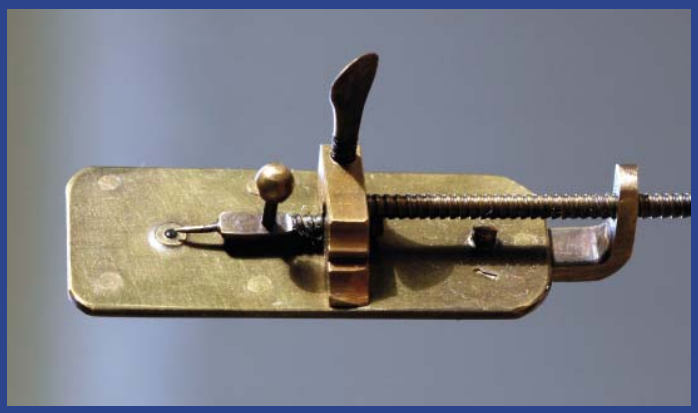
Ve zkratce

# Mez rozlišení mikroskopu

**Michal Lenc, Tomáš Tyc**
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Kotlářská 2, 611 37 Brno

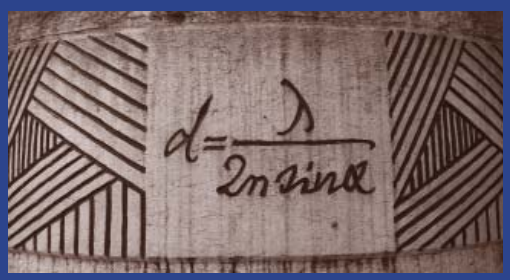
## Optický mikroskop

Mikroskop je zařízení, které umožňuje zobrazit malé objekty. Ve vědě mají mikroskopy nezastupitelnou roli, protože nám podobně jako řada jiných přístrojů dovolují zkoumat věci a jevy, které by jinak byly našim smyslům nedostupné. Díky nim můžeme sledovat mikroskopické organismy, děje uvnitř buněk nebo třeba i uspořádání atomů v krystalu. Nejstarším typem mikroskopu je optický mikroskop (obr. 1) pracující s viditelným světlem. Světlo odražené od objektu nebo jím prošlé prochází soustavou čoček, z nichž nejdůležitější je objektiv. Na sítnici oka, políčku filmu či nejnověji světlocitlivém čipu pak vzniká mnohonásobně zvětšený obraz objektu.



**Obr. 1** První optický mikroskop (Antoni van Leeuwenhoek).

**Obr. 2** Ernst Karl Abbe (1840–1905).




**Obr. 3** Difrakční mez na Abbeho památníku, Friedrich-Schiller-Universität, Jena.

## Abbeho difrakční mez

Ernst Karl Abbe (obr. 2) byl německý fyzik, astronom a sociální reformátor. Je zakladatelem teorie optických přístrojů. Velmi důkladně podal popis funkce i omezení optického mikroskopu v pozoruhodném článku z roku 1873 [1], kde se obešel bez jediného vzorečku! Difrakční mez v podobě slavné formule (obr. 3) se tak objevuje až později.

Ačkoli mikroskop lze v principu zkonstruovat s libovolným zvětšením, nemůžeme jím pozorovat libovolně malé objekty. Světlo, stejně jako každé jiné vlnění, totiž jen neochotně poskytuje informaci o objektech výrazně menších, než je jeho vlnová délka λ.

Ve vzorci na obr. 3 je α úhel mezi optickou osou objektivu a nejvíce od této osy odchýleným paprskem, který z pozorovaného objektu ležícího na optické ose ještě objektivem projde, a $n$ je index lomu prostředí, v němž se objekt nachází. Tento vztah lze chápat jako způsob vyjádření Heisenbergovy relace neurčitosti pro foton: má-li foton přinést informaci o velmi malém objektu, musí se při odrazu od něj nacházet ve velmi přesně vymezené oblasti. Díky relaci neurčitosti pak bude velká neurčitost příčné složky jeho hybnosti a následkem toho i jeho úhlový rozptyl – vlnové klubko fotonu se bude šířit do poměrně širokého kužele. Aby foton přinesl potřebnou informaci o poloze objektu, musí objektiv pojmout celý tento kužel (tj. musí mít dostatečně velké α). Abychom zvýšili rozlišovací schopnost mikroskopu, musíme proto zvolit co největší α, tedy co největší numerickou aperturu.

Jak ale Abbeho vzorec ukazuje, minimální hodnota $d$, která nastává pro $\alpha = \pi/2$, činí $d_{\min} = \lambda/(2n)$. Proto objekty mnohem menší než λ, například viry nebo atomy, optickým mikroskopem neuvidíme.

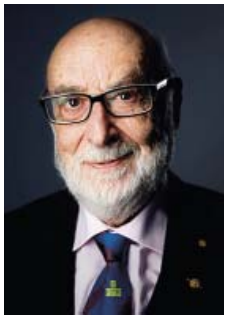
# Mechanismus BEH[1] a jeho skalární boson

## Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2013

© 2013 Nobel Foundation

**François Englert**

Service de Physique Théorique, Université Libre de Bruxelles, Campus Plaine C.P. 225, Boulevard de Triomphe, B-1050 Bruxelles, Belgie
The International Solvay Institutes, Campus Plaine C.P. 231, Boulevard de Triomphe, B-1050 Bruxelles, Belgie



François Englert
*Foto: A. Mahmoud*

Nobelova cena za fyziku 2013



### Úvod: interakce krátkého a dlouhého dosahu

Fyzika, jak ji dnes chápeme, se pokouší interpretovat rozmanité jevy jako konkrétní projev ověřitelných obecných zákonů. Od jejích počátků v období renesance, především díky Galileovým revolučním představám, šlo o mimořádně úspěšné dobrodružství. Až do té míry, že po impozantním vývoji v první polovině dvacátého století se dokonce zdálo, že všechny jevy od atomárních měřítek až po mez viditelného vesmíru jsou řízeny pouze dvěma základními zákony a dvěma známými zákony. Konkrétně jde o klasickou obecnou relativitu – Einsteinovo zobecnění newtonovské gravitace – a kvantovou elektrodynamiku – kvantovou verzi Maxwellovy teorie elektromagnetického pole.

Gravitační a elektromagnetické interakce jsou interakce *dalekého dosahu*, což znamená, že působí na objekty bez ohledu na to, jak jsou od sebe vzdálené. Pokrok v chápání takové fyziky použitelné na velká měřítka jistě vděčí skutečnosti, že tyto jevy jsou bezprostředně pozorovatelné, aniž by bylo k tomu zapotřebí vysoce sofistikovaných technických prostředků. Avšak objev subatomárních struktur odhalil existenci subatomárních struktur, které jsou *krátkého dosahu*, tj. zanedbatelné na větších délkových měřítkách. Na počátku šedesátých let dvacátého století neexistovala žádná konzistentní interpretace krátkodosahových fundamentálních interakcí ani „slabých interakcí" zodpovědných za radioaktivní rozpad ani „silných interakcí" zodpovědných za utváření nukleárních struktur.

S Robertem Broutem [1] – a nezávisle na nás Peter Higgs [2] – jsme zkonstruovali mechanismus, který by krátkodosahové fundamentální interakce popsal. Robert zemřel v roce 2011, a zbývá tedy na mně, abych o naší cestě podal zprávu. Vysvětlím, co nás přivedlo k návrhu mechanismu, který připouští konzistentní fundamentální teorie krátkodosahových interakcí a vznik hmotností elementárních částic. Stal se základním kamenem standardního modelu a byl nedávno potvrzen skvělým objevem jím předpovězeného skalárního bosonu v CERNU.

Dospěli jsme k přesvědčení, že konzistentní formulace krátkodosahových interakcí bude vyžadovat společný původ interakcí krátkého i dlouhého dosahu.

Zatímco jak klasická relativita, tak i kvantová elektrodynamika popisují dlouhodosahové interakce a jsou obě založené na velmi velkých symetriích, které se označují názvem „lokální symetrie", jejich struktury jsou velmi odlišné: na rozdíl od obecné relativity je dlouhodosahová kvantová elektrodynamika na kvantové úrovni plně konzistentní a byla na ní také experimentálně ověřena, a to zejména úspěšným zahrnutím chemie do hájemství známé fyziky. Poněvadž platná teorie krátkodosahových interakcí evidentně vyžadovala kvantovou konzistenci, byli jsme přirozeně vedeni k volbě zobecnění kvantové elektrodynamiky (známého jako Yangova-Millsova teorie) jako modelu odpovídajících dalekodosahových interakcí.

Kvantovými konstituenty elektromagnetických vln jsou „fotony", nehmotné neutrální částice pohybující se rychlostí světla. Jejich nehmotný charakter implikuje, že odpovídající vlny jsou polarizované pouze ve směrech kolmých ke směru jejich šíření. Tyto vlastnosti jsou zřejmě chráněny lokální symetrií, protože lokální symetrie nepřežije zahrnutí hmotnostního členu do teorie. Yangova-Millsova teorie je vybudována na podobných lokálních symetriích, zobecněných tak, aby zahrnovaly několik nehmotných interagujících kvantových konstituentů, neutrálních i nabitých. Tyto nehmotné objekty se nazývají kalibrační vektorové bosony (či často prostě jen kalibrační bosony).

K transmutaci dlouhodosahových interakcí na krátkodosahové v kontextu Yangovy-Millsovy teorie by stačilo dát těmto zobecněným fotonům hmotnost, což je vlastnost, jak jsme již naznačili, zřejmě zakázaná lokálními symetriemi. Ponechme zatím tuto vlastnost stranou a nejprve si připomeňme, proč jsou krátkodosahové interakce obecně zprostředkovány hmotnými částicemi.

Na obrázku 1 je Feynmanův diagram, jehož intuitivní vzhled skrývá přesný matematický obsah. Vnímáme-li jej ve směru shora dolů, popisuje rozptyl dvou elektronů následkem výměny hmotné částice označené Z o hmotnosti $m_z$. Klasicky by takový proces nemo-

1 Mechanismus BEH = Broutův-Englertův-Higgsův mechanismus

# Jak uniknout Goldstoneovu teorému

## Přednáška u příležitosti udělení Nobelovy ceny za fyziku za rok 2013

© 2013 Nobel Foundation

**Peter W. Higgs**

Emeritní profesor School of Physics and Astronomy, University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3FD, Skotsko, Velká Británie

Peter Higgs
*Foto: A. Mahmoud*

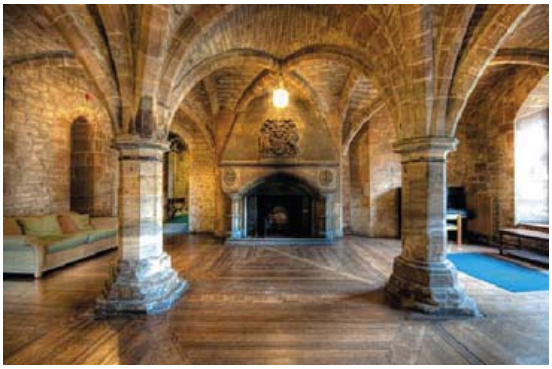
Moje vyprávění začíná v roce 1960, kdy jsem byl jmenován profesorem matematické fyziky na Edinburské univerzitě. Před svým nástupem jsem byl pozván do výboru první letní školy o fyzice, kterou pořádaly skotské univerzity. Požádali mne, abych se školy účastnil jako stevard. Mojí hlavní povinností byl nákup vína a dohled nad vínem, které mělo být každý den podáváno k večeři.

Mezi studenty letní školy byli čtyři, kteří dlouho do noci zůstávali ve společenské místnosti *Newbattle Abbey College* (byla to krypta původního opatství). Zde diskutovali o fyzice a jen zřídka vstávali včas, aby následující den stihli první ranní přednášku. Byli to Dr. N. Cabbibo (Řím), Dr. S. L. Glashow (CERN), pan D. W. Robinson (Oxford) a pan M. J. G. Veltman (Utrecht). Až po mnoha letech mi Cabibbo prozradil, že jejich diskuse byly „podmazávány" lahvemi vína, které shromažďovali každý večer a ukrývali je v kryptě, v útrobách velkých hodin.

Těchto debat jsem se neúčastnil, poněvadž jsem měl na starosti jiné věci (například uchovávání vína!). Proto jsem se také nic nedozvěděl o Glashowově článku [1] o elektroslabém sjednocení, který byl tehdy již napsán.

### Narušené symetrie

Během prvního roku jsem jako přednášející hledal výzkumný program, který by za něco stál. V předchozích čtyřech letech v Londýně jsem se ve fyzice částic ponekud ztratil a začala mě zajímat kvantová gravitace. Symetrie mě fascinovala od studentských let a lámal jsem si hlavu přibližnými symetriemi fyziky částic (které se dnes nazývají symetrie vůní).



Společenská místnosti *Newbattle Abbey College* (krypta původního opatství).

Pak jsem v roce 1961 četl Nambuovy [2] a Goldstoneovy [3] články o modelech narušení symetrie ve fyzice částic, které vycházely z analogie s teorií supravodivosti. (Nambuovy modely byly inspirovány Bardeenovou, Cooperovou a Schrieferovou teorií [4], založenou na Boseově kondenzaci Cooperových elektronových párů: k vybuzení Boseovy kondenzace používal Goldstone skalární pole s potenciálem „vinné lahve" [1] jako v dřívější Ginzburgově-Landauově teorii). Co mě ale velmi zaujalo, byl pojem spontánního narušení symetrie, který je v příslušné dynamice exaktní, avšak v pozorovaných jevech se zdá porušen jako důsledek asymetrického základního stavu („vakua" v kvantové teorii pole).

Většina teoretiků fyziky částic tehdy nevěnovala Nambuovým a Goldstoneovým představám mnoho pozornosti. I přes úspěchy v kvantové elektrodynamice vyšla kvantová teorie pole z módy – selhávala totiž v popisu silných i slabých interakcí.

Kromě toho byla fyzika kondenzovaného stavu obecně vnímána jako nějaká cizí země. Na semináři na Cornellově univerzitě v roce 1960 poznamenal Victor Weisskopf (jak vzpomíná Robert Brout):

*„Fyzici částic jsou teď tak zoufalí, že si musejí vypůjčovat z novinek, které se objevují ve fyzice mnoha částic – jako BCS. Snad z toho něco bude."*

### Goldstoneův teorém

Úspěch Nambuova-Goldstoneova programu narazil na překážku. Nambu ukázal, jak by mohlo spontánní narušení symetrie generovat hmotnosti částic s poločíselným spinem, jako např. protony a neutrony. V rozporu s experimentem však jeho model předpovídal nehmotné částice s nulovým spinem (piony?). (Jak poznamenal Weinberg, jakékoli takové částice by v radiační energii hvězd převládaly.) Goldstone argu-

1 *Pozn. překladatele*: Potenciál vinné lahve (také známý jako potenciál tvaru sombrera) má tvar dna lahve od vína s vyvýšeným středem a okraji.

# Nobelova cena za fyziku pro rok 2013

str. 18–31 Copyright © The Nobel Foundation 2013

## Proslov Petera Higgse na banketu u příležitosti udělení Nobelovy ceny

*10. prosince 2013*

Vaše Veličenstva, Vaše královské Výsosti,
Vaše Excelence, dámy a pánové,

pro Françoise Englerta a pro mne je udělení Nobelovy ceny za fyziku velikou ctí a rádi bychom chtěli vyjádřit naši upřímnou vděčnost Královské švédské akademii věd a Nobelově nadaci.

Nám oběma je velice líto, že se této chvíle nedožil Robert Brout, aby s námi Nobelovu cenu mohl sdílet. Skutečnost, že cena byla udělena právě nám dvěma, implicitně uznává i jeho přínos. Je však třeba si uvědomit, že my tři jsme nebyli jedinými teoretiky, kteří přispěli k objasnění toho, co se asi od šedesátých let nazývá mechanismem BEH (Broutovým, Englertovým a Higgsovým).

Dlouhá časová prodleva mezi teoretickou prací a udělením ceny je z větší části důsledkem obtíží při provádění experimentů potřebných k detekci nové částice, která je podstatnou ingrediencí naší teorie. Více než třicet let práce na vývoji urychlovačů, detektorů a počítačových programů nakonec vyústilo v prohlášení CERNu z července 2012. Byl to velký úspěch všech, kteří se na práci podíleli, a my jsme jim vděčni za to, že zde dnes můžeme být.

*Copyright © Nobel Media AB 2013, přeložil Ivan Gregora*

Peter Higgs promlouvá na banketu. *Foto: Helena Paulin-Strömberg*

# François Englert – životopis

Narodil jsem se v Belgii 6. listopadu 1932. Jsem ženatý s Mirou Nikomarowovou a mám pět dětí: Michèle, Anne a Georgese z mého prvního manželství s Esther Dujardinovou, Sarah a Hélène z druhého manželství s Danielle Vindalovou.

Moji rodiče emigrovali z Polska v roce 1924 s mým bratrem, kterému bylo jen několik měsíců. Pocházeli z prosté rodiny polských Židů. Předpokládám, že hledali lepší život a také prchali z antisemitského prostředí. Tvrdě pracovali, založili si obchod s textilem a podařilo se jim zajistit si poměrně slušné živobytí, když náhle v červnu 1940 nacistické Německo vtrhlo do Belgie – necelý rok po invazi do Polska. Bylo mi sedm let a celou situaci jsem si dobře uvědomoval. Perzekuce přicházela postupně. Po dvou letech poměrně normálního života jsem byl přinucen nosit nápadnou Davidovu hvězdu jako všichni Židé, kteří nemohli skrýt svoji identitu. O několik měsíců později začali nacisté s deportacemi Židů do koncentračních táborů, kde byli vražděni.

Rodiče, můj bratr i já jsme přežili válku v Belgii. Pomáhali nám a skrývali nás lidé, kteří nás ani neznali. Lidé, kteří v té temné době tolik riskovali jen proto, že projevili svou šlechetnost, lidskost a odvahu.

Rodiče se skrývali v místě, které jsem neznal. Odloučení od nich zvyšovalo mé šance na přežití. Byl jsem v péči Camille a Louise Jordanových, majitelů kavárny v Lustinu, malé vesničce v Ardenách. Chci vzdát čest jejich památce a jejich dcery Yvonne, jejíž něha, s jakou mě zasvěcovala do hudby a hry na klavír, byla pro mne jiskrou ve světě beznaděje. A také památce faráře Warnona z Annevoie, další malé vesničky v Ardenách, kde se po anonymním udání na útěku z Lustinu naše rodina opět spojila a zůstala až do konce války; on nás představil vesničanům jako křesťany; on zašel až tak daleko, že mne pokřtil, abych mohl chodit do katolické školy *Notre Dame de Bellevue* v Sonantu, a to jako řádný student; on přijal mého bratra, oblečeného do falešné sutany, do seminární školy, jako by ho připravoval na kněžský stav. A také vzdávám čest památce mnoha dalších, kdo nám pomáhali. Nebýt těchto skvělých lidí, neunikli bychom perzekuci – a já bych tu nebyl, abych vám to mohl sdělit.

# 40 let listopadové revoluce

## aneb jak byl objeven skrytý půvab

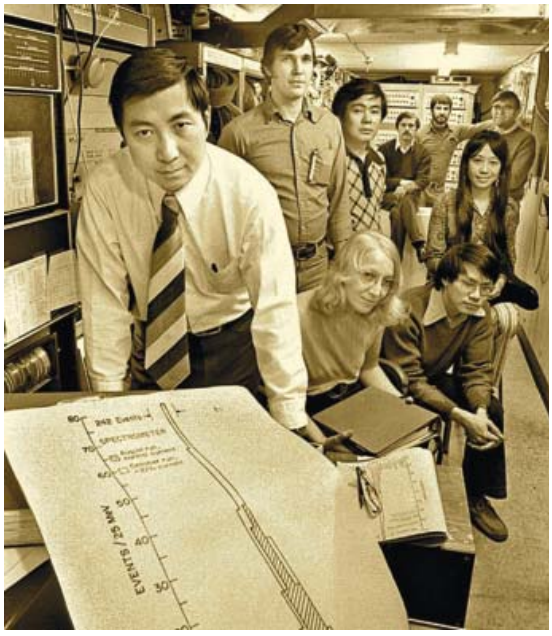
**Jan Hladký**

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; hladky@fzu.cz

Tato listopadová revoluce nemá nic společného ani s revolucemi v Rusku v r. 1917 ani v Československu v r. 1989. Byla to revoluce ve fyzice částic a přinesla objevem nové, neočekávané částice – vektorového mezonu J/ψ – ve dvou zcela nezávislých experimentech provedených ve stejné době v r. 1976 Nobelovu cenu dvěma americkým částicovým fyzikům – Samuelovi Tingovi (obr. 1) a Burtonu Richterovi (obr. 2) [1, 2].

Stalo se to 11. listopadu, i když se o tom šuškalo téměř čtvrt roku předem. Sam Ting si dal dobrý pozor, aby signál, který se v jeho datech objevil, byl ze všech stran dobře prověřen, jak různými testy, tak i opatrnými konzultacemi s kolegy z laboratoří studujících vektorové mezony a elektron-pozitronové procesy v oblasti jejich velkých efektivních hmotností. Nejednalo se vlastně ani o žádnou revoluci usilující o zavedení dalšího, tzv. půvabného kvarku, ale o standardní výzkum v těchto oblastech, jak v experimentálních studiích při rozpadech rezonancí na elektron-pozitron, tak i ve formačních experimentech na vstřícných svazcích elektronů s pozitrony.

Od poloviny padesátých let minulého století se při popisu silných interakcí pomocí vektorových polí začínají fyzici zajímat o vektorové mezony. Na zvláštní




**Obr. 1** S. C. C. Ting se svojí skupinou.

**Obr. 2** Skupina B. Richtera. *Foto: Vera Lueth*

postavení vektorových mezonů v přírodě a jejich vazbu se zákony zachování a univerzalitou interakcí poukázali Yang a Mills již v r. 1954 [3]. Další teorie vedly k předpovědi vektorových mezonů ρ, ω a ϕ [4]. Po objevu mezonu ρ se zájem o vektorové mezony zvyšuje a během šedesátých let vzniká model vektorové dominance (VDM) [5]. Další model [6] sjednocuje univerzalitu interakcí s vektorovou dominancí. Vyplývá z něho, že v libovolném hadronovém procesu s produkcí reálného vektorového mezonu vznikají leptonové páry a lze spočítat relativní pravděpodobnost této produkce z vazebné konstanty g. V této době jsou elektromagnetické vlastnosti částic v popředí zájmu fyziků. Rozvoj teorie podněcuje zájem experimentu. Hledá vektorové mezony v mnoha laboratořích světa na různých zařízeních, zprvu na pevných terčích [7–12]. Vznikají rovněž vstřícné svazky elektronů s pozitrony v laboratořích v Orsay (Francie), Novosibirsku (SSSR), Frascati (Italie) a později i v DESY Hamburg a SLAC v Kalifornii, kde se kromě dalších studií zkoumala i produkce všech tehdy známých vektorových mezonů –ρ, ω a ϕ.

Na pevných terčích se prováděly experimenty zpočátku většinou s použitím jednoramenných spektrometrů. Ty se staly občas zdrojem vážných omylů při studiu rezonancí, které se rozpadaly na více částic. Proto se vyvinuly dvouramenné spektrometry, které měly lepší detekční účinnost. V polovině šedesátých let např. byla publikována nová metoda na měření efektivních hmotností rezonancí, které se rozpadají na elektromagnetické komponenty, a v její souvislosti byl postaven dvouramenný tzv. spektrometr efektivních hmotností [13] (obr. 3), v Laboratoři vysokých energií Spojeného ústavu jaderných výzkumů (LVE SÚJV) v Dubně

# Horečné tříletí a poslední rok života Jaroslava Heyrovského

**Jiří Jindra**

Ústav pro soudobé dějiny AV ČR, v. v. i., Vlašská 9, 118 40 Praha 1; jindra@usd.cas.cz

Životní dráha Jaroslava Heyrovského (1890–1967), fyzikálního chemika a dosud jediného českého laureáta vědecké Nobelovy ceny, byla v podstatě klidná, naplněná pilnou vědeckou a pedagogickou prací. Přesto se jeví některá období jeho života jako rozhodující pro jeho kariéru. Patří k nim bezesporu tříletí 1921–1923. V únoru 1922 Heyrovský objevil elektrolýzu s kapkovou rtuťovou elektrodou, později pojmenovanou polarografie. Ta se stala určující pro jeho další vědecká bádání. Je pojednáno posledních 15 měsíců života J. Heyrovského, kdy mimo jiné obdržel svůj poslední čestný doktorát.

## Úvod

Úvodem je třeba zmínit několik let před rokem 1921. Na sklonku 1. světové války, do níž musel Heyrovský narukovat v lednu 1915, a tedy přerušit svá studia na univerzitě, se vrátil v uniformě do Prahy, kde sepsal svoji doktorskou disertaci *O elektroaffinitě alumínia*, kterou předložil k obhajobě na Filozofické fakultě české univerzity. Do disertace začlenil výsledky, které získal při studiu na University College v Londýně v letech 1913-1914 a další po troškách naměřených během vojenské služby ve vojenských lékárnách, kde „válčil". S výborným prospěchem absolvoval rigorózum před profesory B. Braunerem (1855–1935), Janem S. Štěrbou-Böhmem (1878–1939) a B. Kučerou (1874–1921). Byl to fyzik Kučera, který navrhl Heyrovskému, aby se pokusil objasnit některé problémy povrchového napětí kapalin (anomálie na elektrokapilárních křivkách, tj. závislostech povrchového napětí na potenciálu kapkové rtuťové elektrody). Heyrovského Kučerova nabídka silně zaujala, však ve své disertaci měl i výsledky s kapkovou hliníkovou amalgámovou elektrodou, a tak začala Heyrovského spolupráce s Kučerou, zejména Kučerovým asistentem R. Šimůnkem (1892–1961) ve Fyzikálním ústavu UK, kam podle časových možností docházel. Později si příslušné zařízení k měření elektrokapilárních křivek postavil v Chemickém ústavu, kde byl od 1. 1. 1919 zaměstnán jako asistent. Vojenské úřady udělily Heyrovskému 27. 11. 1918 studijní dovolenou a později (19. 3. 1919) od nich obdržel osvobození od vykonávání vojenské služby, neboli byl demobilizován [1].

Kučerův způsob měření elektrokapilárních křivek postupně zjednodušil tím, že místo vážení kapek rtuti měřil dobu kapky (tj. čas mezi dvěma následujícími odkápnutími) jako průměr několika desítek kapek (až 50). Doba kapky totiž souvisí s váhou kapky, a tudíž povrchovým napětím kapky. I přes zjednodušení takováto měření byla časově náročná. Od února 1919 kromě toho sledoval rozpustnost hydroxidu hlinitého v anorganických bázích.

V září a říjnu 1919 byl Heyrovský opět po pěti letech v Londýně, kde v letech 1910–1914 studoval fyzikální chemii na University College, součásti University of London. Tam během návštěvy vyjednával způsob, jak tam dokončit studia a získat doktorát D.Sc., hodnost rozhodně cennější než PhDr., kterou měl už od r. 1918 z Prahy. K příslušnému jednání byl vybaven certifikátem vydaným rektorátem Univerzity Karlovy [2].

## Docent Heyrovský

Heyrovského šéf v Chemickém ústavu UK Brauner správně odhadl schopnosti Heyrovského, a proto ho vyzval k habilitaci. Heyrovský sepsal habilitační spis *Kyselina hlinitá. Příspěvek k teorii amfoterních elektrolytů*. K habilitaci došlo v létě 1920, tedy necelé dva roky po doktorátu. V té době se Heyrovský soustředil na měření napětí potřebné na vylučování kovu přítomného ve formě iontů v použitém roztoku (rozpuštěné soli) [3].

S docenturou přišly nové povinnosti – přednášky a cvičení. Už pro školní rok 1920/21 ohlásil první přednášku z fyzikální chemie [3]. Heyrovský připravil čtyřsemestrový kurz fyzikální chemie, v němž postupně přednášel základy disciplíny, termodynamiku, kinetickou teorii hmoty, elektrochemii, fyzikálně-chemické vlastnosti hmoty a fyzikálně-chemické výpočty (viz tabulka 3). Připravil pro cvičení studentů z fyzikální chemie 12 úloh, které mohl student absolvovat během jednoho semestru. Šlo o tyto úlohy: 1) Bod zvratu a eutektická směs, 2) Rozdělovací koeficient a konstanta reakce jodidu draselného s jódem 3) Kalorimetrie, 4) Radioaktivita, 5) Stanovení snížené tenze páry, 6) Koloidy, 7) Reakční rychlost, 8) Měření pyrometrem, 9) Kryoskopie, 10) Vodivosti, 11) Elektromotorické síly a 12) Zmýdelňování esteru. Inverze cukru. K těmto úlohám Heyrovský vypracoval i jejich popis [4]. Je třeba konstatovat, že podle těchto, event. aktualizovaných úloh se toto cvičení přeneslo i do výuky fyzikální chemie na UK po 2. světové válce. Pokročilí studenti mohli

# Drobnohledy



[*Optika*. Jednota českých mathematiků a fysiků, Praha 1919, s. 266–278]

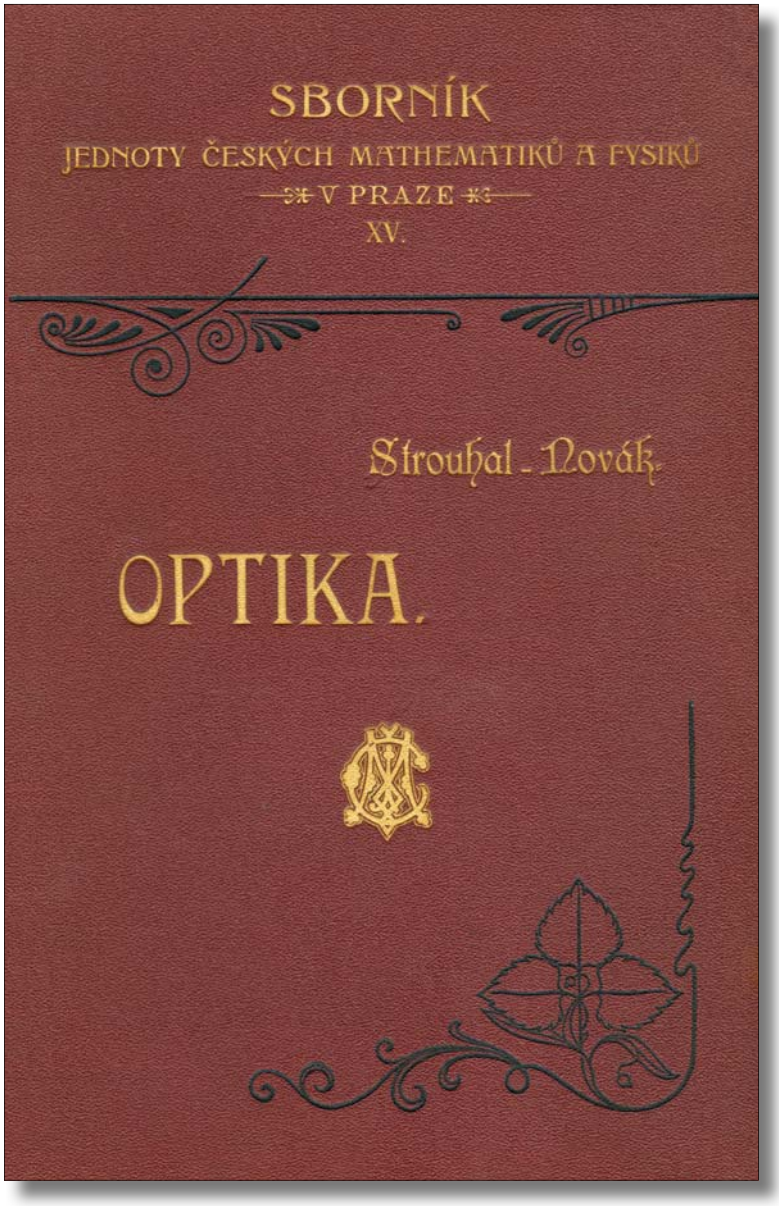
## Čeněk (Vincenc) Strouhal

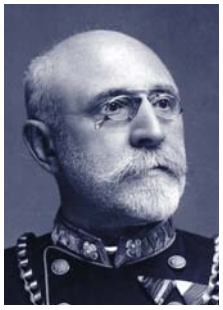
10. 4. 1850 Seč – 23. 1. 1922 Praha, experimentální fyzik, profesor a v letech 1903–1904 rektor Univerzity Karlovy v Praze

## Vladimír Novák

21. 6. 1869 Praha – 24. 3. 1944 Brno, profesor fyziky a v letech 1910–1911 a 1921–1922 rektor České vysoké školy technické v Brně

V minulém roce jsme přinesli výňatek z pamětí brněnského fyzika Vladimíra Nováka. Nyní využíváme příležitosti ukázat v bloku textů věnovaných mikroskopům a mikroskopii pedagogické mistrovství Vladimíra Nováka a jeho učitele Čeňka Strouhala úryvkem z kapitoly o optických přístrojích, kterou Novák zpracoval podle Strouhalových a vlastních přednášek a novější literatury.



**Čeněk (Vincenc) Strouhal** se narodil 10. dubna 1850 v Seči (okres Chrudim) a zemřel v Praze dne 23. ledna 1922. Ve věku jedenácti let začal navštěvovat gymnázium v Hradci Králové a po maturitě v roce 1869 zahájil studia na filozofické fakultě Karlo-Ferdinandovy univerzity v Praze. Patřil mezi žáky Ernsta Macha. Od roku 1872 působil po dobu tří let jako asistent Karla Hornsteina na pražské hvězdárně v Klementinu. V říjnu 1875 se stal asistentem na univerzitě ve Würzburgu u Friedricha Kohlrausche. O rok později úspěšně obhájil disertační práci a získal titul doktora filozofie na Karlo-Ferdinandově univerzitě v Praze. Na univerzitě v dolnofranckém Würzburgu strávil šest let a roku 1878 se tam habilitoval. V roce 1882 byl jmenován profesorem experimentální fyziky na české Karlo-Ferdinandově univerzitě. Mezi jeho žáky patřilo mnoho významných českých fyziků, například Bohumil Kučera, Vladimír Novák a František Záviška. Věnoval se různým oborům experimentální fyziky; asi nejvýznamnějšího objevu dosáhl v hydrodynamice (Strouhalovo číslo). Trvalou stopou jeho pedagogické činnosti zůstává série učebnic experimentální fyziky, z nichž některé sepsal se svými žáky. Spoluautorem Optiky byl Strouhalův žák **Vladimír Novák** (21. června 1869 Praha až 24. března 1944 Brno). V letech 1879–1887 studoval na akademickém gymnáziu v Praze. V říjnu 1887 se zapsal na filozofickou fakultu Karlo-Ferdinandovy univerzity v Praze. V roce 1892 tam vykonal zkoušky učitelské způsobilosti z matematiky a fyziky a získal doktorát filozofie. Učil na středních školách; stal se asistentem profesora Strouhala. V roce 1896 se habilitoval. Ve školním roce 1896/97 absolvoval studijní pobyt v Cambridgi u Richarda T. Glazebrooka; v roce 1898/99 působil na Univerzitě Johnse Hopkinse v Baltimoru, stát Maryland. V říjnu roku 1902 se stal nástupcem profesora F. Koláčka na brněnské české technice, kde byl jmenován mimořádným a v roce 1906 řádným profesorem fyziky.

# Účinnost LED diod v úlohách Mezinárodní a Světové fyzikální olympiády

## aneb co je Světová fyzikální olympiáda WoPhO

**Jan Kříž[a], Filip Studnička[a], Ľubomír Konrád[b], Bohumil Vybíral[a]**

[a] Ústřední komise Fyzikální olympiády, Univerzita Hradec Králové, Rokitanského 62, 500 03 Hradec Králové
[b] Gymnázium, Veľká okružná 22, 010 01 Žilina

Historie svítivých (elektroluminiscenčních) diod (LED – light emitting diode) je poměrně dlouhá, ale jejich použití v úlohách fyzikální olympiády není příliš časté. Nalezli jsme sice několik experimentálních úloh, ve kterých hrála LED dioda roli světelného zdroje, ale těch, které by se přímo zabývaly vlastnostmi LED diod, je skutečně velmi málo. Představíme v tomto příspěvku dvě takovéto úlohy: nejprve experimentální úlohu, zadanou v roce 1990 na 21. mezinárodní fyzikální olympiádě, a dále úlohu teoretickou, zadanou v rámci Světové fyzikální olympiády. V úvodu příspěvku ještě tuto ne příliš známou soutěž čtenářům přiblížíme.

První elektroluminiscenční dioda (dále jen LED dioda) spatřila světlo světa již v roce 1962, [1], a mohlo by se tedy zdát, že LED diody budou lákavým tématem úloh fyzikální olympiády už vzhledem k jejich přijatelné ceně pro případné experimentální úlohy. Opak je však pravdou. Vyhledat v archivech úlohy s tematikou LED diod je velmi složité. V několika málo experimentálních úlohách se vyskytuje jako světelný zdroj, např. v části experimentální úlohy z poslední, 45. mezinárodní fyzikální olympiády (MFO), která se konala v červenci 2014 v Kazachstánu, viz [2]. Experimentální složení této části úlohy s LED diodou je na obr. 1.

Nicméně úlohy zabývající se vlastnostmi LED diod se v archivech celostátního kola české Fyzikální olympiády [3], MFO [4] či Asijské fyzikální olympiády [5] (více informací o Asijské fyzikální olympiádě viz [6]) hledají velice obtížně.

Představíme zde tedy jedinou nalezenou úlohu ze zmíněných archivů – jednu ze dvou experimentálních úloh zadaných na 21. MFO v roce 1990 v Nizozemsku, která se zabývala účinností LED diod. Plný text úlohy v originále je k dispozici v archivu [4]. Zde uvádíme upravený český překlad, který je dílem autorů tohoto příspěvku.

Experimentální úloha studující světelné charakteristiky LED diody byla zadána i na celostátním kole 34. ročníku Fyzikální olympiády v roce 1993. Bohužel se nám nepodařilo text úlohy dohledat. Do 29. ročníku vycházely tištěné ročenky FO s plnými texty všech

**Obr. 1** Experimentální složení části experimentální úlohy ze 45. MFO. LED dioda jakožto zdroj světla je zcela vpravo.

úloh, od 39. ročníku funguje elektronický archiv [3]. Úlohy slovenské Fyzikální olympiády jsou přehledně uvedeny v publikaci [7] od 35. ročníku. Tedy úlohy 34. ročníku, který proběhl jako poslední československý, ač v době konání celostátního kola existovaly již dvě samostatné republiky, nejsou snadno dohledatelné.

Další úloha, kterou zde přinášíme, je teoretická úloha ze Světové fyzikální olympiády, zabývající se taktéž účinností LED diod. Tuto nepříliš známou soutěž představíme v příštím odstavci. Plný text úlohy včetně několika variant řešení a vyhodnocení lze najít na internetu [8]. V tomto příspěvku uvádíme zadání úlohy včetně všech nápověd a vybíráme jedno z možných řešení.

# LABONIT

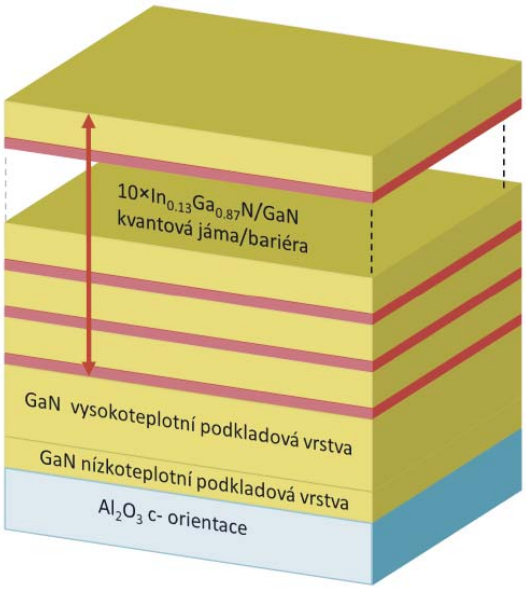
## Nová technologická laboratoř pro přípravu a charakterizaci nitridových polovodičových nanoheterostruktur

**Alice Hospodková**

Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Cukrovarnická 10, 162 53 Praha 6; hospodko@fzu.cz

Práce tří japonských vědců oceněných v loňském roce Nobelovou cenou za fyziku odstartovala před dvaceti lety nový zájem výzkumných laboratoří o nitridové polovodiče a jejich heterostruktury. Objevily se nové aplikace nitridových polovodičů, především ve vysokovýkonových součástkách, nové výzvy, jako realizace UV emisních diod a laserů, zeleného laseru, jehož přípravu komplikuje silné piezoelektrické pole způsobené odlišnou polarizací nitridových vrstev s různým složením. Piezoelektrického pole naopak využívají nitridové heterostrukturní tranzistory s vysokou pohyblivostí. Vědci se i nadále snaží připravit podložky z GaN nebo AlN. Relativně úspěšná je v přípravě objemových nitridových polovodičů polská firma Amono, podporovaná významně firmou Nichia. Podložky AlN by umožnily přípravu vysoce účinných emisních diod a laserů vyzařujících UV záření s vlnovou délkou kratší než 405 nm, což je v současnosti pro technology velká výzva.

V 60. letech a na počátku 70. let se do výzkumu nitridových polovodičů zapojovali také čeští vědci. Ve skupině Dr. Jana Pastrňáka se tehdy studoval především AlN, ale jako v jedné z prvních pěti laboratoří na světě také GaN a InN [1]. Ve Fyzikálním ústavu byly připravovány a měřeny jen malé, nejvýše milimetrové krystalky těchto polovodičů, avšak byly zde tehdy provedeny také jedny z prvních pokusů o epitaxní přípravu AlN na křemíku [2]. Optické parametry AlN změřené tehdy ve Fyzikálním ústavu jsou dodnes používané a citované v renomovaných knihách týkajících se nitridových polovodičů [3].




**Obr. 1** Příklad nitridové heterostruktury navržené pro využití ve scintilátorech [4].

V letošním roce se k přípravě nitridových polovodičů ve Fyzikálním ústavu po letech znovu vrátíme. Fyzikální ústav získal podporu ve výši 46 milionů korun z evropských strukturálních fondů v rámci 11. výzvy programu OPPK (Operační program Praha – Konkurenceschopnost) pro projekt LABONIT. Z těchto prostředků bude vybudována laboratoř pro přípravu a charakterizaci nitridových polovodičů a jejich nanoheterostruktur. Fyzikální ústav AV ČR se bude na budování laboratoře finančně podílet přibližně čtyřmi miliony korun ze svého rozpočtu. Bez podpory evropských strukturálních fondů by si Fyzikální ústav tak náročnou investici nutnou pro vybudování nitridové technologie dovolit nemohl, přestože je to technologie v současnosti velmi potřebná jak pro vědecké účely, tak pro spolupráci vědy s českým průmyslem.

Projekt LABONIT se snaží dohnat zpoždění, které česká věda v této oblasti získala. Podíváme-li se k našim sousedům, u žádného z nich nitridová technologie nechybí. Například v Německu pracuje několik desítek vědeckých nitridových laboratoří, v Polsku je jich přibližně deset, na Slovensku mají s budováním podobné laboratoře roční předstih.

Projekt LABONIT v sobě zahrnuje vybudování technologické a optické laboratoře. Technologická laboratoř bude pro přípravu nitridových nanoheterostruktur využívat metodu organokovové epitaxe. Při epitaxi jsou na monokrystalické podložce nanášeny vrstvy různých polovodičů, jejichž atomy jsou monokrystalicky uspořádány podle materiálu podložky. Vznikají tak funkční nanoheterostruktury (viz obr. 1), ve kterých mají jednotlivé vrstvy polovodičů předem definované funkce, jako například potenciálové jámy

# Obsah a autorský rejstřík

## Čs. čas. fyz. sv. 64 (2014)

číslo **1** *(Nobelova cena za fyziku 2012)* ..... str. 1–76
číslo **2** ..... str. 77–154
číslo **3** ..... str. 155–224
číslo **4** ..... str. 225–282
číslo **5** ..... str. 283–346
číslo **6** ..... str. 347–415

# Obsah

### Referáty

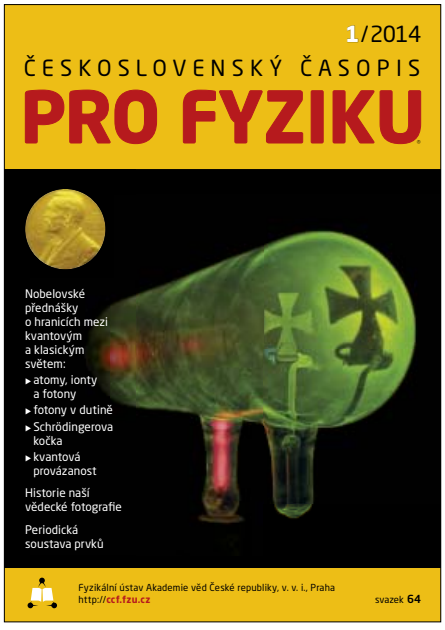
*Serge Haroche*, Manipulace s fotony v dutině a zkoumání hranice mezi klasickým a kvantovým světem (NC 2012) – Nobelovská přednáška **1** 4
*David J. Wineland*, Superpozice, kvantová provázanost (entanglement) a chov Schrödingerovy kočky (NC 2012) – Nobelovská přednáška **1** 22
*Slavomír Entler*, Lawsonovo kritérium – kritérium fúzní energetiky **3** 161
*Jiří Blahovec*, Tepelné vlastnosti zemědělských produktů a potravin **3** 168
*Vladimír Scholtz*, Evoluce digitálních organismů v počítači **4** 232
*Vladimír Bahýl, Tibor Mészáros*, Uvedenie do fyziky dreva **4** 236
*Jiří Kamarád*, Vlastnosti velmi silně stlačených látek se studují již dlouho, stále však umí překvapit **5** 290
Štefan *Michalik*, Rázová kompresia a časovo rozlíšiteľná röntgenová difrakcia. Nástroje štúdia materiálov v extrémnych podmienkach **5** 295
*Jiří Lipovský*, Rezonance v kvantových grafech **6** 353
*Václav Paidar*, Krystaly, jejich poruchy, dvojčata a dislokace **6** 357
*Michal Křížek*, Kritika standardního kosmologického modelu. Nikdy neztotožňujme matematický model s realitou **6** 359

### Nobelova cena za fyziku

*Serge Haroche*, Životopis Serge Haroche, Proslov na banketu, Interview **1** 33
*David J. Wineland*, Životopis Davida J. Winelanda, Interview **1** 34

### Historie fyziky

*Jan Valenta*, Nástin historie pěstování vědecké fotografie na Univerzitě Karlově – K připomínce 175 let od vzniku fotografie **1** 37
*Vít Svoboda*, Periodický zákon aneb Proč máme rádi periodickou tabulku **1** 43
*Vladimír Štefl*, Historie Lagrangeova-Laplaceova důkazu stability sluneční soustavy **2** 107
*Aleš Lacina*, Stavba atomu – od prvních spekulací k Bohrovu modelu **2** 113
*Kateřina Šraitrová*, Disertační práce Nielse Bohra o elektronové teorii kovů **2** 123
*Filip Grygar*, Niels Bohr, kodaňský duch a fyzikální institut **2** 126
*Jiří Chýla*, Jak byly objeveny kvarky. 1. část. Poznámky k 50. výročí formulace kvarkového modelu **3** 185
*Angela Zentková, Anton Zentko*, Jozef Kvasnica a košická fyzika **3** 193




*Jiří Chýla*, Jak byly objeveny kvarky, 2. část (od kvarků k partonům a kvantové chromodynamice) **4** 240
*Juraj Šebesta*, Bratislavský rodák Philipp Lenard **4** 247
*Martin Franc, Miroslav Kunštát*, Vývoj plánování vědy v Československu a NDR v letech 1945–1989 **5** 302
*Jiří Jindra*, Fyzik Jaroslav Šafránek (1890–1957) **5** 313
*František Jáchim*, Camille Flammarion (1842–1925) nadšený popularizátor astronomie **6** 368
*Nicolas Camille Flammarion*, O původu života **6** 374

### Dokumenty

*Jaroslav Heyrovský*, O vnitřní struktuře atomů a přeměnitelnosti prvků **1** 48
*Viktorin Vojtěch*, O vnější struktuře atomů a fotochemických reakcích **1** 52
*Niels Bohr*, Fyzikální modely a živé organismy (1961) **2** 132
*Jozef Kvasnica*, Posledný polyhistor teoretickej fyziky Lev Davidovič Landau **3** 195
*Philipp Lenard*, Johannes Kepler (1571–1630), Heinrich Hertz (1857–1894) z knihy Velcí přírodozpytci **4** 254
*Jaroslav Šafránek*, Curriculum vitae **5** 318
*Doubravka Olšáková*, Převýchova vědce: případ Jaroslava Šafránka **5** 328
*Vladimír Novák*, Vzpomínky a paměti (životopis) **5** 331

### Mládež a fyzika

*Jan Kříž, Ivo Volf, Bohumil Vybíral*, Kvantová optika a úlohy fyzikálních olympiád **1** 58
*Martin Kapoun, Jan Kříž, Ivo Volf, Bohumil Vybíral*, Úlohy pro řešitele fyzikálních olympiád: modely atomů před rokem 1913 **2** 134