

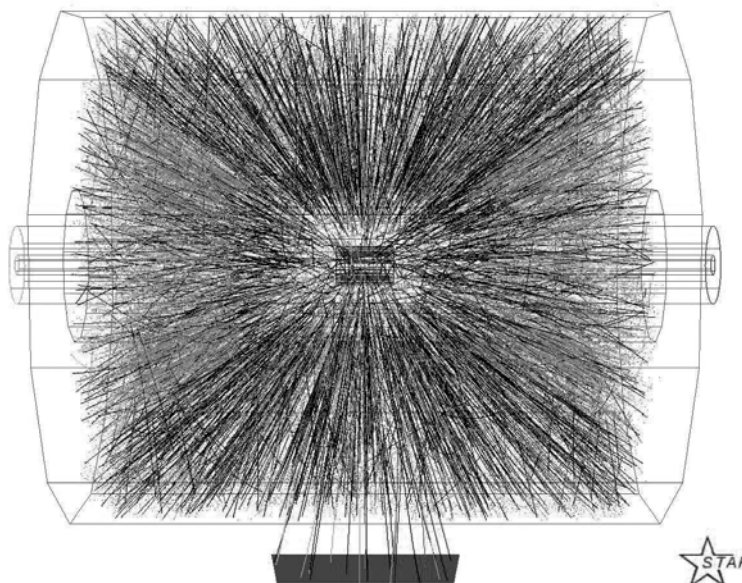
Co přinesl Mezinárodní rok fyziky 2005

Miroslav Randa*, Pedagogická fakulta ZČU Plzeň

Na sklonku každého roku lidé hodnotí, co odcházející rok přinesl. A tak se v prosinci objevují ankety o nejlepšího sportovce, herce, ...; hodnotí se největší úspěchy v té či oné oblasti. Také fyzici každoročně hledají mezi novými objevy ty, které mají největší šanci zasáhnout do rozvoje fyziky. Jednu z prvních anket v Mezinárodním roce fyziky zveřejnil časopis *Physics World* na svých webových stránkách <http://physicsweb.org>.

Za největší objev roku 2005 je v anketě označen ten, který byl publikován v dubnu. Vychází z experimentů na obřím urychlovači těžkých iontů (RHIC – Relativistic Heavy Ion Collider) v Brookhavenu, které trvaly 5 let. Při nich byly urychlovány proti sobě dva svazky atomových jader zlata na energii 20 TeV. Byly sledovány srážky takto urychlených jader a zkoumány částice vyletující po destrukci obou jader. Výsledkem je překvapivé zjištění, že při srážce se směs kvarků a gluonů

nechovala jako dříve předpokládaný plyn, ale jako kapalina. Tato fáze trvala pouhých 10^{-24} s a velikost získané „ohnivé koule“ byla jen 5 femtometrů ($5 \cdot 10^{-15}$ m). Teplota dosáhla hodnoty $2 \cdot 10^{12}$ K, tedy hodnoty, jakou měl vesmír několik mikrosekund po velkém třesku. Částicoví fyzici tak pomáhají odhalit, jak vypadal vesmír v raných fázích svého vývoje.



Ziž v lednu však byl daleko od Země proveden jiný významný experiment. Výsadkové pouzdro Huygens úspěšně přistálo na povrchu Saturnova měsíce Titan. Jeho povrch do té doby lidé neznali, protože je stále skryt pod hustou atmosférou. I když astronomové předpokládali, že by na povrchu měsíce mohla být jezera plná kapalného metanu, bylo potvrzení této hypotézy velmi významným objevem roku 2005. Kapalné uhlovodíky tečou po povrchu tvořeném ledem. Na povrchu kamera vyfotografovala ledové valouny velké několik centimetrů.

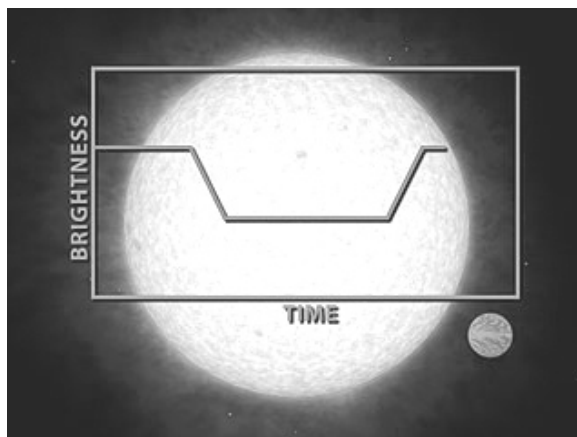
Počátkem roku 2005 byl sledován dosvit dosud nejsilnějšího záblesku z vesmíru. Jeho původcem byl magnetar (neutronová hvězda s extrémně silným magnetickým polem) ve vzdálenosti 50 000 světelných let. První záblesk byl zaznamenán v oblasti gama záření 27. 12. 2004 (jako měkké opakované gama záře-



* randam@kof.zcu.cz

ni: SGR – Soft Gamma Repeater), v té době z magnetaru na Zemi dopadala stejná energie, jakou k Zemi vysílá Měsíc v úplňku. Postupně byl záblesk pozorovatelný i v dalších oborech elektromagnetického záření.

Roce 2005 se podařilo poprvé přímo pozorovat extrasolární planetu – planetu obíhající jinou hvězdu než Slunce. Pozorování bylo uskutečněno pomocí Spitzerova kosmického teleskopu (Spitzer Space Telescope) v infračervené oblasti spektra. Byly tak objeveny hned dvě takové planety, HD 209458b (ve vzdálenosti 153 světelných let) a TrES-1 (489 světelných let), které mají hmotnost přibližně jako Jupiter a obíhají kolem svých hvězd blíže než Merkur kolem Slunce. Díky tomu jsou zahřáty na vysokou teplotu a vyzařují dostatek energie v infračervené části spektra.



Uřčit hmotnost s přesností na zeptogramy ($1 \text{ zg} = 10^{-21} \text{ g}$) dokáže svým nejnovějším zařízením Michael Roukes se svými spolupracovníky z Kalifornského technického institutu (Caltech). Měření je založeno na změně vibrační frekvence karbidu křemíku způsobené změnou hmotnosti, například v důsledku přidání několika molekul. Protože změna frekvence závisí na hmotnosti, lze uvedené zařízení použít k měření hmotnosti molekul.

Překvapivý objev týkající se dopadu kapek na rovný povrch byl zveřejněn vědci z Chicagské univerzity. Za normálních podmínek jev probíhá tak, že se při dopadu kapka zploští, rozšíří do stran a kolem ní se vytvoří koruna, na jejímž hřebeni se oddělují malé kapičky kapaliny. Při menším atmosférickém tlaku se však překvapivě koruna stává méně výrazná, při tlaku menším než pětina atmosférického tlaku úplně zmizí. Za tento krásný jev tedy může naše atmosféra. Videá dokumentující tento jev jsou k dispozici na webové adrese kauzmann.uchicago.edu.

Zadernou fúzi za pokojové teploty realizovali Brian Naranjo, Jim Gimzewski a Seth Putterman. Hlavní součástí zařízení je pyroelektrický krystal, materiál známý z mobilních telefonů, kde se používá k filtrování signálů. Při zahřívání pyroelektrického krystalu dochází k polarizaci dielektrika a u jeho povrchu vznikne velké elektrické pole. Jmenovaní fyzici umístili krystal ve vakuové komoře tak, aby se jednou stěnou dotýkal měděného disku opatřeného wolframovou špičkou. Po ochlazení a zahřátí krystalu vzniká u wolframové špičky elektrické pole s intenzitou až $2,5 \cdot 10^{10} \text{ V} \cdot \text{m}^{-1}$, které ionizuje okolní atomy deuteria a zároveň silně odpuzuje vzniklá jádra. Jádra deuteria jsou tak urychlena, dopadají na pevný terč obsahující deuterium a vyvolávají reakci ${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^3_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$, kde vzniklý neutron má energii 2,45 MeV. Dosavadní experimenty ale poskytují jen malé množství energie, proto vědci připravují analogické experimenty s tritiem ochlazeným na nízké teploty. Doplňující informace včetně obrázků a videí jsou k dispozici na webové adrese <http://rodan.physics.ucla.edu/pyrofusion>.

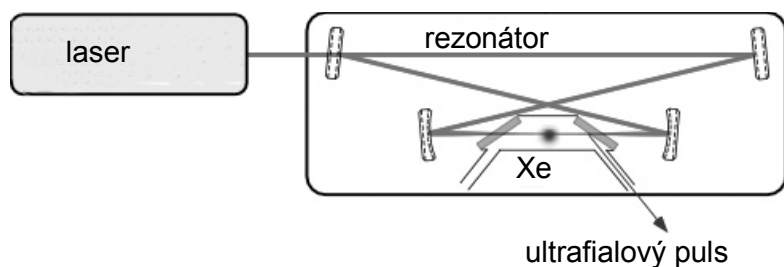
Také teoretickým fyzikům zkoumajícím kvarkovou strukturu částic se podařil významný objev. Andreas Kronberg spolu se svými spolupracovníky použil metodu označovanou jako kvantová chromodynamika na mříži (lattice quantum chromodynamics)

k výpočtu hmotnosti hadronů (elementárních částic složených z kvarků). Metoda předpokládá, že se kvarky v částicích nacházejí v uzlech jakési „krystalové mřížky“ a interagují navzájem prostřednictvím gluonů rozmístěných podél spojnice kvarků. Dosavadní výpočty hmotností částic byly na úrovni 10% nepřesnosti, Davies zpřesnil v roce 2003 výpočty na 2 %. Lepší pochopení chování lehkých kvarků a pokrok ve výpočetní technice umožnil nyní zlepšení přesnosti až na zlomek procenta. Kronberg s kolegy vypočetl hmotnost B-mezonu (částice, která je složena z půvabného kvarku a spodního antikvarku) na $(6304 \pm 20) \text{ MeV} \cdot c^{-2}$, c je rychlost světla ve vakuu. Předpověď byla prakticky okamžitě potvrzena experimenty, z nichž vyšla hmotnost $(6287 \pm 5) \text{ MeV} \cdot c^{-2}$.

Další objev spadá do oblasti fyziky elementárních částic. Fyzikům pracujícím na urychlovači SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) se podařilo experimentálně proměřit závislost slabé interakce na vzdálenosti interagujících částic. Protože slabá interakce je jednou ze čtyř základních interakcí společně s interakcí elektromagnetickou, gravitační a silnou, lze proměření závislosti síly na vzdálenosti přirovnat k fundamentálním experimentům Coulombovým a Cavendishovým. Vzájemné působení dvou elektronů je při vzdálenostech větších než rozměr atomu popsáno právě Coulombovým zákonem. Při menší vzdálenosti se však projeví i další jevy, zejména to, že jsou interagující částice obklopeny mračny virtuálních částic (kvarky, elektrony, W- a Z-bozony), které částečně odstíní interagující náboje. Výsledkem je pak rychlejší pokles síly s rostoucí vzdáleností částic. Právě tuto očekávanou závislost potvrdilo zmíněné měření.

Supratekutosti plynu tvořeného páry neutrálních atomů ${}^6_3\text{Li}$ dosáhli fyzici v Massachusettském institutu technologií (MIT). Jedná se teprve o druhý případ supratekutosti fermionů, prvním byla supratekutost kapalného ${}^3_2\text{He}$. Supratekuté vlastnosti mají atomy lithia při nízkých teplotách, ve stavu Boseho-Einsteinova kondenzátu (BEC).

Wěma týmům fyziků se nezávisle podařilo realizovat ultrafialový frekvenční hřeben. Toto zařízení dokáže z viditelných pulsů laseru vytvořit pulsy v energetičtější, ultrafialové oblasti. Princip zařízení je takový, že pulsy získané v červené oblasti spektra jsou udržovány v optické dutině (s rozměry odpovídajícími celočíselnému násobku vlnových délek pulsů) a když jejich souhrnná energie dosáhne dostatečné hodnoty, dojde k ionizaci atomů xenonu umístěných v dutině. Při rekombinaci pak dochází ke vzniku ultrafialového pulsu a frekvence záření pulsu je celočíselným násobkem frekvence původního. Tento způsob získání pulsního ultrafialového záření je levný a fyzici očekávají jeho velké praktické využití, stejně jako realizace hřebenu v optické oblasti (oceněná Nobelovou cenou za fyziku v roce 2005) umožnila vylepšit atomové hodiny a zpřesnit spektroskopii. A proč se zařízení nazývá hřeben? Protože frekvence získané z červeného světla laseru se Fourierovou transformací mění na sadu impulsů rovnoměrně frekvenčně rozložených.



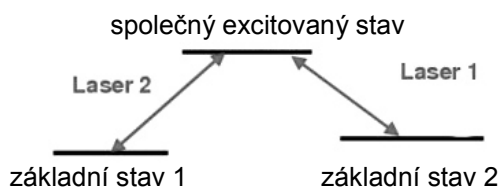
Zařízení KamLAND k detekci neutrin pomocí podzemní nádrže s 1000 tunami kapaliny dosáhlo dalšího zajímavého objevu. Pomocí detektoru totiž byla zachycena elektronová antineutrína

pocházející (jak odpovídá energii antineutrin) pravděpodobně z rozpadu $^{238}_{92}\text{U}$ a $^{232}_{90}\text{Th}$ v nitru Země. Objev umožní fyzikům lépe poznat jeden z procesů zodpovědných za udržování horkého nitra naší planety (druhým procesem je zbytkové teplo z doby formování Země).

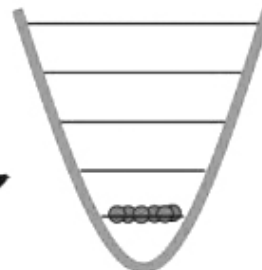
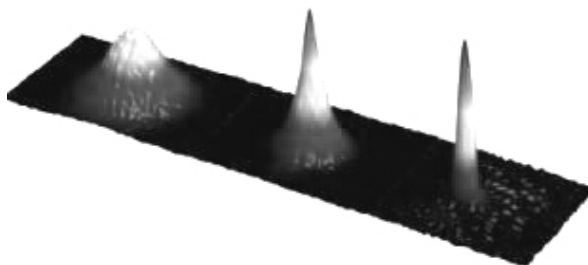
Fyzici z innsbrucké univerzity úspěšně vytvořili v Boseho-Einsteinově kondenzátu atomů rubidia molekulu Rb_2 .

Molekula vznikla jevem nazývaným fotoasociace (dopadem fotonu se atomy spojí a vytvoří molekulu). Protože dopadající foton může nejen vytvořit mole-

kuly, ale může i vzniklou molekulu rozdělit zpět na atomy, využili vědci tzv. temný stav, v němž nemůže být světlo pohlcováno. Temný stav je charakterizován třemi kvantovými energetickými stavy: dva jsou základní a jeden excitovaný. Dopadají-li současně na soustavu



laserové paprsky odpovídající excitaci z obou základních stavů do excitovaného stavu, navzájem se „ruší“ a k excitaci nedojde. V experimentu v Innsbrucku jeden z dopadajících laserových paprsků zároveň vedl ke vzniku molekuly.



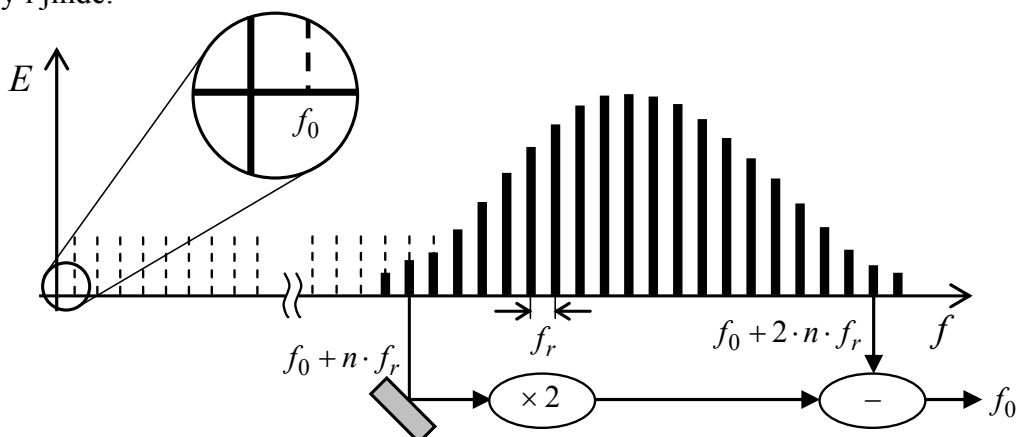
Uřování účinnosti chřipkové vakcíny bylo až dosud převážně problémem lékařským a biologickým. Ukazuje se však, že mnohem účinnějším nástrojem pro posuzování účinnosti by mohly být metody statistické fyziky. Michael Deem společně se svými spolupracovníky zkoumal těmito metodami mutace chřipkového viru za posledních 35 let s ohledem na změny, ke kterým dochází u bílkoviny hemagglutinin (označovaným v lékařství H). Ukázali, že každá molekula H má pět míst (epitopů), ve kterých dochází ke spouštění tvorby protilátek různým tempem. Přitom odhalili, že jeden z epitopů má pro mutaci viru dominantní význam.

Hydrofobní voda, tedy voda nesnášející vodu? I když toto spojení vypadá jako naprosto nesmyslné, fyzici i něco takto pozoruhodného již pozorovali. Na platinovou podložku umísťovali při teplotách nižších než 60 K jednotlivé molekuly vody. Molekuly zůstaly ležet na místě. Při vyšších teplotách se začaly pohybovat a vytvořily malé ostrůvky tenoučké, jednomolekulové vrstvy ledu. Při přidání dalších molekul vody nedošlo k nárůstu tloušťky ledové vrstvy, ale molekuly zaplnily mezery mezi ledovými ostrůvky, až byla celá platinová podložka pokryta jednomolekulovou vrstvičkou ledu. Protože molekuly ve vrstvičce mají všechny vazby zaplněné, přidáním další vody nevznikne další vrstva ledu, ale molekuly „stečou“ z ledu. Takový zajímavý stav vody se podařilo vědcům pozorovat vůbec poprvé. Přitom zkoumání tohoto stavu může mít velký význam pro vysvětlení vzniku ledových částic na kondenzačních jádrech v mracích.

Nobelovu cenu za rok 2005 získali: jednu polovinu Roy Glauber z Harvardské univerzity v Cambridge za příspěvek ke kvantové teorii optické koherence a druhou polovinu John Hall z JILA a z Coloradské univerzity v Boulderu a Theodor Hänsch z Institutu Maxe Plancka pro kvantovou optiku v Garchingu a z Ludwigo-Maximilianovy univerzity v Mnichově za příspěvek k rozvoji přesné laserové spektroskopie, včetně metody frekvenčního optického hřebene.

Roy Glauber v roce 1963 publikoval práci, v níž pomocí kvantové fyziky popsal fotoelektrickou detekci, která zcela odpovídá pozorování, a to i v případě detekce několika fotonů nebo dokonce jen jednoho fotonu. Pomohl si tím, že i elektromagnetická pole popisuje jako kvantovaná. Pomocí své teorie například vysvětlil kvantový hluk, tedy neustálé a neodstranitelné fluktuace světla, a umožnil vznik a rozvoj kvantové kryptografie.

Hall a Hänsch vyvinuli neobyčejně přesnou metodu pro měření frekvence světla, která umožňuje určit frekvenci na 15 cifer! Metoda frekvenčního optického hřebene (její využití v ultrafialové oblasti již bylo popsáno výše) je založena na tom, že jednotlivé (často femtosekundové) pulsy generované laserem jsou složeny jako v akustice ze základní frekvence a několika vyšších harmonických. Jejich frekvence jsou dány vzdáleností zrcadel v laseru a počtem vlnových délek na této vzdálenosti. Frekvenční spektrum pulsů, tedy závislost intenzity světla na frekvenci, je čárové, přičemž vzdálenosti sousedních čar (f_r) jsou stejné a připomínají „hřeben s nestejně dlouhými hroty“ – odtud pochází název metody. Základní frekvence f_0 je zatím neznámá. Jestliže však metodami nelineární optiky zvětšíme všechny frekvence optického hřebenu na dvojnásobek, n -tá čára zvýší svoji frekvenci z $f_0 + n \cdot f_r$ na $2 \cdot (f_0 + n \cdot f_r)$. Odečteme-li od ní frekvenci původní $2 \cdot n$ -té čáry s frekvencí $f_0 + 2 \cdot n \cdot f_r$, je výsledkem hledaná frekvence f_0 . Uvedená metoda má velký význam při testování obecné teorie relativity, při konstrukci přesných atomových hodin, při přesném měření konstanty jemné struktury i jinde.



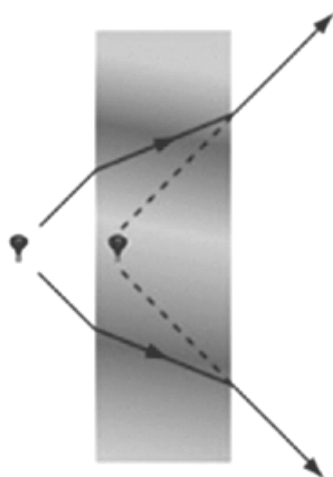
oblasti nanotechnologií se podařilo v roce 2005 vytvořit a otestovat „chodící molekulu“. Jedná se o molekulu 9,10-dithioantracenu. Jestliže je molekula umístěna na pevné podložce (autoři použili měděnou destičku běžně používanou pro výrobu mikročipů) a zahřejeme ji nebo ji „šťouchneme“ hrotem skenovacího tunelového mikroskopu, začne se pohybovat podobně, jako se pohybují lidé při chůzi. Jedna „noha“ molekuly se opírá o podložku a brání rotaci molekuly, zatímco druhá „noha“ se přesouvá vpřed. Pak si obě „nohy“ role vymění a molekula se pohybuje přímočaře. Při provedení experimentu molekula ušla 10 000 kroků. Animaci pohybu molekuly si můžete prohlédnout na webové adrese <http://www.chem.ucr.edu/groups/bartels/>.

ěmečtí a francouzští fyzici pozorovali akustickou obdobu Hallova jevu. Hallův jev popisuje situaci, kdy se při průchodu elektrického proudu vodičem umístěným v magnetickém poli elektrony ve větším počtu vyskytují u jedné z bočních stěn vodiče. Vědci umístili do magnetického pole vzorek látky neobsahující volné elektrony a ochladili jej na 5 K. Když jej pak na jedné straně zahřívají, objevil se na bočních stěnách malý, ale bez problémů měřitelný rozdíl teplot zhruba jedné tisícinu kelvinu.

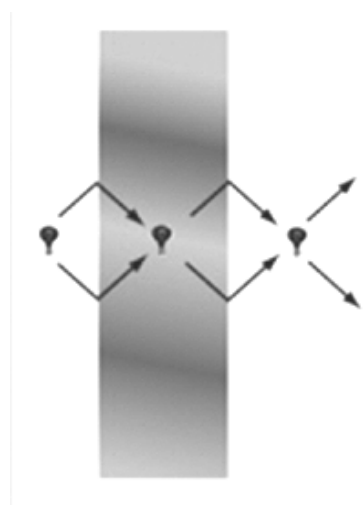
Tým fyziků vedený Paulem Kwiatem z illinoiské univerzity poprvé demonstroval vícenásobné propletení (hyper-entanglement) dvou fotonů. Propletený stav dvou nebo více částic je takový kvantový stav, v němž nemá smysl hovořit o stavech jednotlivých částic. Jestliže změříme, že jedna částice se nachází v určitém stavu, je tím automaticky znám stav i pro druhou částici. Až dosud bylo známo propletení částic pouze prostřednictvím jedné fyzikální veličiny. Tou byl nejčastěji spin částic. V experimentu provedeném týmem P. Kwiaty bylo poprvé pozorováno vícenásobné propletení fotonů. Foton se po vltnutí do optického krystalu rozpadl na dva fotony s menší energií, přičemž oba fotony měly naprosto stejnou energii, hybnost i polarizaci.

Oynikající čočku pro infračervené záření středních vlnových délek představili fyzici z texaské univerzity na konferenci Optické společnosti USA „Hranice v optice“. Podařilo se jim sestrojít rovinnou čočku, která zobrazuje bodový zdroj infračerveného záření do ohniskové roviny na opačné straně čočky, a to do skvrnky o rozměru rovném zhruba osmině vlnové délky použitého záření. Čočka je tvořena tenkou vrstvičkou karbidu křemíku (s tloušťkou 400 nm) po obou stranách obklopenou 200 nm oxidu křemičitého. Zvláštní optické vlastnosti takové čočky jsou dány zápornou permitivitou materiálu čočky. V popsaném experimentu destička fungovala pro infračervené záření s vlnovou délkou 11 μm a fyzici jsou pesvědčeni, že se jim brzy podaří stejným způsobem vyrobit i čočku pro blízké infračervené záření. Čočky vyrobené tímto způsobem nejsou sice vhodné pro použití v běžných lupách nebo v dalekohledech, ale hodí se k zobrazování velkých biologických molekul, které jsou náchylné k poškození ultrafialovým zářením.

Hitem současné optiky je tvorba a zkoumání materiálů se záporným indexem lomu. Jestliže na takový materiál dopadne ze vzduchu paprsek světla, nelomí se jako u jiných materiálů, ale zcela nezvykle (viz obr.). Zatím se daří vyrábět materiály, které mají záporný index lomu v oblasti mikrovln, ale lze předpokládat časem i rozšíření do oblasti viditelného záření. Koncem roku 2005 oznámila skupina optiků v čele s Vladimírem Shalaevem vytvoření materiálu, který má záporný index lomu v oblasti blízkého infračerveného záření. Jejich vzorek má index lomu $-0,3$ v oblasti vlnové délky 1,5 μm (velmi blízké optické oblasti spektra). Tato oblast se využívá k vláknové telekomunikaci. Jedná se o



chod světla prostředím s kladným indexem lomu



chod světla prostředím se záporným indexem lomu

materiál tvořený malými zlatými pruty zasazenými v matici z dielektrického materiálu. Vzorek má zatím bohužel příliš velkou pohltivost, ale i tak znamená významný posun v hledání materiálů se záporným indexem lomu v optické oblasti, jejichž užití se předpokládá ve zcela nových čočkách, anténách, světlovodech. Materiály se záporným indexem lomu budou ovšem znamenat přelom i v dalších oblastech optiky, například v oblasti optického snímání, nanozobrazování apod.