

NOBELOVSKÉ SNY

Vylíčíme fascinující příběh, kterak byl vymyšlen „Higgsův“ mechanismus, a zamyslíme se nad tím, jak si ho bude pamatovat historie.

Stalo se to v roce 1940. Německo právě obsazovalo Dánsko. Niels Bohr, jeden z tvůrců kvantové mechaniky a ředitel Ústavu pro teoretickou fyziku v Kodani, vlastnil nesmírně cenný kontraband, který za každou cenu musel ukrýt před nacisty: dvě zlaté medaile udělované jako součást Nobelovy ceny. Jak by je mohl nejlépe schovat před rychle postupující armádou?

Bohr získal Nobelovu cenu v roce 1922, ale ani jedna ze zmíněných medailí mu nepatřila. Tu svou totiž vydražil v aukci, aby mohl finančně pomoci finskému odboji. Medaile s vyrytými jmény patřily Maxovi von Lauemu a Jamesi Franckovi, dvěma německým fyzikům, kteří je tajně propašovali ze země a uchránili je tím před nacisty. Bohr se obrátil na svého přítele, chemika George de Hevesyho, který přišel s geniálním nápadem: rozpustit medaile v kyselině. Zlato se prakticky vůbec nerozpouští, a tak museli sáhnout po lučavce královské, což je vysoce agresivní směs kyseliny dusičné a kyseliny chlorovodíkové, která dokáže zničit i „ušlechtilé“ kovy. Obě Nobelovy medaile se během odpoledne působením lučavky královské úplně rozložily na jednotlivé atomy a ty zůstaly rozptýlené v roztoku. Vojáci pátrající po podezřelých vzácných předmětech nespátří nic zvláštního, jen pár běžných nádob s chemikáliemi, schovaných mezi stovkami jim podobných.

Trič se povedl. Po válce pak vědci z Hevesyho roztoku vysráželi zlato zpět. Bohr tento kov doručil Královské akademii věd ve Stockholmu, která z něj nechala opět vyrazit nobelovské medaile pro von Laueho a Francka. I sám de Hevesy, který uprchl v roce 1943 do Švédska, získal roku 1943 Nobelovu cenu za chemii. Nikoli ovšem za objev nové techniky ukrývání kontrabandu, ale za metodu použití radioizotopů ke sledování chemických reakcí.

Jak se zdá, lidé berou Nobelovy ceny velmi vážně. Koncem 19. století se chemik Alfred Nobel, vynálezce dynamitu, rozhodl ustanovit ceny udělované za

fyziku, chemii, fyziologii a medicínu, literaturu a mír. Jsou udělovány každoročně od roku 1901. (Cena za ekonomii byla zřízena až v roce 1968 a uděluje ji jiná organizace.) Alfred Nobel zemřel v roce 1896 a vykonavatelé jeho závěti byli velmi překvapeni, když zjistili, že plných 94 % svého obrovského majetku věnoval na zřízení zmíněných cen.

Během své existence si Nobelovy ceny získaly obrovskou vážnost a reputaci. Jsou obecně pokládány za nejvyšší možnou vědeckou poctu, což ale nemusí být vždy totéž co největší vědecký „úspěch“. Nobelův výbor totiž uplatňuje speciální kritéria, tudíž není divu, že se stále vedou spory, nakolik ceny vskutku odpovídají nejdůležitějším vědeckým objevům. Vůle Alfreda Nobela byla, aby cenu získal „ten, kdo během uplynulého roku největším způsobem prospěl lidstvu“, ve fyzice pak konkrétně „osoba, jež učinila nejdůležitější ‚objev‘ anebo ‚ vynález‘ na poli fyziky“. Do určité míry je jeho původní instrukce dnes prakticky ignorována. V počátcích totiž bylo uděleno i několik cen za objevy, jež se později ukázaly chybnými. Nikdo už dnes proto nepředstírá, že cenu získávají jen práce provedené během předchozího roku. Podstatné je hlavně to, že „objev“ není totéž co „ocenění“, neboli že někdo je uznáván coby přední světový vědec. K některým objevům občas dojde i náhodou, díky lidem, co později svůj obor opustí. A někteří vědci během celého svého života odvedou fantastickou práci, přestože neučiní žádný světoborný objev, který by mohl na Nobelovu cenu aspirovat.

Volba Nobelovy ceny je navíc omezena dalšími pravidly. Nikdy se neuděluje posmrtně, ledaže by laureát zemřel až poté, co byl vybrán (ale ještě ne veřejně oznámen). Pro fyziku je však ještě důležitější, že cena se nikdy daný rok neuděluje více než třem lidem. Na rozdíl od Nobelovy ceny míru nemůže proto cenu za fyziku získat výzkumná organizace či velká spolupráce, maximálně jen tři jednotlivci. Což je v dnešní době velké vědy docela zapeklitý oříšek.

Problém také je s výsledky na poli teoretické fyziky. Nestačí jen mít skvělý nápad, a dokonce ani mít pravdu. Musíte mít pravdu a vaši teorii musí navíc potvrdit experiment. Nejdůležitějším příspěvkem Stephena Hawkinga vědě je předpověď, že černé díry v důsledku kvantově mechanických efektů vydávají záření. Naprostá většina fyziků má za to, že Hawking má pravdu. V současnosti je to ale ryze teoretický výsledek. Žádné vypařující se černé díry jsme zatím neviděli a v dohledné době dokonce ani nebudeme mít technologie, které by něco takového umožnily. Je velmi pravděpodobné, že i přes svůj enormní přínos fyzice Hawking Nobelovu cenu nikdy nezíská.

Laikům se může zdát, že získat Nobelovu cenu je hlavním cílem vědeckého snažení. Tak tomu rozhodně není. Nobelova cena často reprezentuje nejdůležitější

okamžiky v dějinách vědy. Sami vědci však před sebou vidí barvitou tapiserii zahrnující mnoho různých příspěvků, velkých i malých, které se na sebe mnoho let systematicky navazují. Připouštím ale, že získat Nobelovu cenu je velká věc a fyzikové bedlivě sledují, který z objevů by na tuto poctu mohl daný rok aspirovat.

Objev Higgsova bosonu je bezpochyby počín, který je Nobelovy ceny hoden. Na prvním místě si ji zaslouhuje formulace teorie, jež Higgse předpovídá. To ale ještě nezaručuje, že takováto Nobelova cena bude někdy udělena. Kdo konkrétně by ji měl získat? V podstatě nejde o ocenění, ale o vědu samu. Nicméně nám to poskytuje dobrou příležitost, abychom se nyní podrobněji podívali na historický vývoj myšlenek, které vedly k objevu Higgsova bosonu a fyziky inspirovaly k pátrání po této zvláštní částici. Smyslem kapitoly, kterou právě čtete, není podat kompletní a ucelenou historii problematiky ani rozsoudit, kdo si zaslouží jaké ocenění. Právě naopak: podíváme-li se na vývoj souvisejících myšlenek, uvidíme zcela jasně, že formulace Higgsova mechanismu, podobně jako řada jiných velkých fyzikálních myšlenek, se odehrála v několika krocích. Nakreslit jasnou dělicí čáru mezi třemi (či méně) lidmi, kteří si zaslouží Nobelovu cenu, a mnoha dalšími, kterým ji lze odepřít, nedává valný smysl a hrubě zkrsluje skutečný vývoj oboru, i když by se dobře hodila do novinových titulků.

V této kapitole se pokusíme o vyvážený pohled. Takto stručný přehled však nutně bude značně neúplný. V historii často záleží na drobnostech. Proto, v porovnání s ostatními částmi knihy, se zde budeme muset více ponořit do odborných detailů. Můžete ji klidně celou přeskočit, pokud vám nevadí, že tím přijdete o kus fascinující fyziky a opravdová lidská dramata.

Supravodivost

V osmé kapitole jsme prozkoumali hlubokou souvislost mezi symetriemi a přírodními silami. Máme-li „lokální kalibrační“ symetrii, která účinkuje nezávisle ve všech bodech prostoru, nezbytně ji doprovází pole konexe. A pole konexe dávají vzniknout fyzikálním interakcím. Takto funguje gravitace i elektromagnetismus a v 50. letech minulého století přišli Yang s Millsem na nápad, jak myšlenku zobecnit i na další síly v přírodě. Jak ale zcela správně poukazoval Wolfgang Pauli, hlavní problém spočíval v tom, že výchozí symetrie je vždy doprovázena nehmotnými bosonovými částicemi. V tom tkví síla symetrií: kladou přísná omezení na vlastnosti příslušných částic. Vnitřní symetrie elektromagnetismu například zaručuje, že elektrický náboj se musí za všech okolností zachovávat.

Síly zprostředkované nehmotnými částicemi by však měly mít nekonečný dosah a být proto snadno detekovatelné. Tak si to alespoň všichni představovali.

Rozhodně to platí pro gravitaci a elektromagnetismus. Jaderné síly se ale chovaly jinak. Dnes už víme, že silné i slabé jaderné interakce rovněž spadají do kategorie Yangových-Millsových polí. Příslušné nehmotné částice jsou však před námi skryty, a to z odlišných důvodů. V případě silných interakcí jsou gluony opravdu nehmotné, ale uvězněné v hadronech. Bosony W a Z, jež zprostředkovávají slabé interakce, se stávají hmotnými díky spontánnímu narušení symetrie.

Už v roce 1949 přišel americký fyzik Julian Schwinger s argumentem, že síly související se symetriemi by měly být vždy zprostředkovány nehmotnými částicemi. O problému dále přemýšlel a v roce 1961 si uvědomil, že jeho argument není úplně přesný. Existuje možnost, jak by příslušné částice mohly získat hmotnost. Nebyl si úplně jist, jak přesně mechanismus funguje, ale přesto napsal článek, v němž upozornil na své předchozí opomenutí. Schwinger byl všeobecně známý svým uhlazeným vystupováním a precizností i hloubkou fyzikálních úvah. Byl diametrálně odlišný od Richarda Feynmana, s nímž (a spolu se Sin-Itirem Tomonagou) v roce 1965 získal Nobelovou cenu. Feynman se proslavil svou divokou neformální povahou a hluboce intuitivním přístupem k fyzice, zatímco Schwinger byl velmi puntičkářský a exaktní. Když napsal článek, v němž upozornil na chybu v obecně přijímané argumentaci, lidé vzali záležitost velmi vážně.

Základní otázka však zůstávala: Co by mohlo způsobit, že interakční bosony získají nenulovou hmotnost? Odpověď přišla z dost nečekané strany. Nikoli od částicové fyziky, ale z oboru fyziky kondenzovaných látek, jež se zabývá studiem materiálů a jejich vlastností. Konkrétně šlo o myšlenku převzatou z teorie supravodičů, tedy látek s nulovým elektrickým odporem. Takových, jež tvoří i výkonné magnety v LHC.

Elektrický proud je tok elektronů určitým prostředním. V běžných vodičích elektrony narážejí do atomů i ostatních elektronů, takže proud je vystaven určitému odporu. Supravodiče jsou materiály, jimiž může za dostatečně nízké teploty proud procházet zcela nerušeně. S první dobrou teorií supravodičů přišli v roce 1950 sovětské fyzikové Vitalij Ginzburg a Lev Landau. Supravodičem podle nich prostupuje speciální pole, jež způsobuje, že běžně nehmotné fotony získávají hmotnost. Neměli na mysli nějaké zcela nové a fundamentální pole v přírodě, ale spíše společný pohyb elektronů, atomů a elektromagnetického pole. Stejně jako zvukové vlny, které nejsou vibracemi fundamentálního pole, ale společným pohybem atomů vzduchu.

Přestože Landau s Ginzburgem navrhli, že za supravodivost by mohlo nějaké pole, nijak nespécifikovali, jaké povahy by toto pole mělo být. Tento krok učinili až američtí fyzikové James Bardeen, Leon Cooper a Robert Schrieffer, když v roce

1957 vymysleli takzvanou „BCS teorii“ supravodivosti. BCS teorie je jedním z milníků fyziky 20. století a nesporně si zaslouží vlastní knihu. (Nikoli ale tuto.)

BCS teorie vyšla z Cooperovy myšlenky, podle níž se za velmi nízkých teplot mohou částice spárovat. Právě tyto „Cooperovy páry“ vytvářejí ono tajuplné pole, s nímž přišli Landau a Ginzburg. Zatímco osamocené elektron při svém pohybu neustále naráží na okolní elektrony a atomy, takže se setkává s odporem, Cooperův pár se zkombinuje tak chytře, že každá interakce, která působí na jeden z elektronů, je kompenzována opačným působením na druhý elektron páru (a naopak). Výsledkem je, že spárované elektrony procházejí supravodičem bez odporu.

Jejich zvláštní chování přímo souvisí se skutečností, že fotony uvnitř supravodiče mají efektivně nenulovou hmotnost. Energie nehmotných částic je přímo úměrná jejich frekvenci a, počínaje nulou, může nabývat libovolně vysoké hodnoty. Naproti tomu hmotné částice mají jistou minimální nenulovou energii, totiž klidovou energii, která je určena vzorcem $E = mc^2$. Když jsou pohybující se elektrony brzděny okolními atomy a jinými elektrony v materiálu, jejich elektrické pole se mírně chvěje, čímž vznikají fotony s nízkou energií, kterých si běžně ani nevšimneme. Právě díky této neustále emisi nízkoenergetických fotonů ztrácejí elektrony energii a zpomalují svůj pohyb, proud slábne. Protože v Landauově-Ginzburgově či BCS teorii mají fotony nenulovou hmotnost, existuje určité minimální množství energie nutné k jejich vzniku. Elektrony s energií menší než tato hodnota nemohou žádný foton vytvořit, a tudíž nemohou ani ztrácet energii: Cooperovy páry pak procházejí materiály s nulovým odporem.

Elektrony jsou samozřejmě fermiony, nikoli bosony. Když se však sdruží do Cooperových párů, navenek se chovají jako bosony. Bosony jsme definovali jako shluky polí, jež jsou zprostředkovateli silových interakcí. Na rozdíl od „nesnášenlivých“ fermionů, které kolem sebe vždy vyžadují prostor, bosony se mohou kupit jeden na druhý. V prvním dodatku probíráme, že pole mají i vlastnost zvanou „spin“, která rovněž odlišuje bosony od fermionů. Všechny bosony mají celočíselný spin, tedy 0, 1, 2, ..., zatímco spin fermionu je nějaké celé číslo plus jedna polovina, tedy 1/2, 3/2, 5/2, ... Elektron je fermion se spinem 1/2. Když se elementární částice zkombinují, jejich spiny se buď sečtou, nebo odečtou. Pár dvou elektronů tedy může mít buď spin 0, nebo 1. Každopádně vytvoří boson.

To, co jsme tu právě vylíčili, je velké zjednodušení sofistikovaných teorií Landaua a Ginzburga a BCS, jež jsou spleťtým příběhem mnoha různých druhů částic navzájem interagujících kvantově-mechanickým způsobem. Pro naše účely ale stačí si zapamatovat, že bosonové pole vyplňující prostor může fotonům udělit nenulovou hmotnost.