
Moderní fyzika a sjednocení částic i sil (2)

[Fyzika](#) | 20.05.09

Znalost symetrií je užitečná věc, protože nám něco říká o silách, které v procesu vystupují. V prvním případě jsme se dozvěděli, že gravitační síla působící na kočky nezávisí na tom, odkud kočky pocházejí. V druhém případě zjišťujeme, že určité jaderné síly nerozeznají rozdíl mezi protonem a neutronem.

pokračování [prvního úryvku](#)

Někdy nám symetrie dává o silách jen takovouto částečnou informaci. V některých speciálních situacích však symetrie síly plně určuje. Tak je tomu v případě sil, kterým říkáme *kalibrační síly*. Nebudu vás obtěžovat výkladem, jak přesně fungují, protože to nebudeme potřebovat. **Ale skutečnost, že všechny vlastnosti těchto sil jsou plně dány znalostí symetrií, je jedním z nejdůležitějších výsledků fyziky dvacátého století. A to je skutečný obsah kalibračního principu.**

O kalibračním principu si musíme uvést dvě věci. Jednou z nich je, že síly, ke kterým vede, jsou zprostředkovány částicemi zvanými *kalibrační bosony*. Tou druhou je, že elektromagnetická, silná a slabá interakce jsou síly tohoto charakteru. Kalibračními bosony elektromagnetické interakce jsou fotony. Silnou interakci, kterou mezi sebou interagují kvarky, zprostředkují *gluony* (z anglického glue, což znamená lepit). Bosony zprostředkující slabou interakci mají název méně zajímavý – říká se jim prostě *slabé bosony*.

Kalibrační princip je ona „krásná matematická myšlenka“ Hermana Weyla, o níž jsme se zmínili ve třetí kapitole v souvislosti s neúspěšným Weylovým pokusem o sjednocení elektromagnetického a gravitačního pole z roku 1918. Weyl byl jedním z nehloubavějších matematiků, kteří se kdy zamýšleli nad fyzikálními rovnicemi, a byl to právě on, kdo pochopil, že strukturu Maxwellovy teorie plně určují kalibrační síly. V padesátých letech minulého století si někteří vědci položili otázku, zda se kalibračním principem dají sestavit i jiné teorie pole. Ukázalo se, že ano a že symetrie, s nimiž se pracovalo, byly ty, které vykazují různé druhy elementárních částic. Těmto teoriím se dnes říká Yang–Millsovy podle dvou jejich objevitelů.³ Nejdříve se nevědělo, co s těmito teoriemi dělat. Nové síly měly totiž mít nekonečný dosah, podobně jako síly elektromagnetické. Fyzikové věděli, že dvě jaderné síly jsou krátkodosahové a tak se nezdálo, že by je šlo popsat kalibrační teorií.

Jedna z věcí, která z teoretické fyziky dělá něco jako umění je to, že nejlepší teoretikové mají jakýsi šestý smysl, který jim říká, co lze v dané situaci opomíjet. Krátce po roce 1960 si uvědomil Sheldon Glashow, tehdy postdoktorand na Institutu Nielse Bohra, že slabá síla by se kalibrační teorií přeci jen dala popsat. Vyžadovalo by to ovšem, aby nějaký dosud neznámý mechanismus omezil její dosah. Pokud se tento problém vyřeší, půjde slabou sílu sjednotit s elektromagnetismem. Ale celkový problém zůstával – jak sjednotit síly, které se projevují tak rozdílnými způsoby, jako elektromagnetismus, silná a slabá interakce?

Podobné obecné problémy kalí téměř každý pokus o sjednocení. Jevy, které toužíte sjednotit, jsou rozdílné – jinak by na jejich sjednocení nebylo nic překvapivého. I když mezi nimi tedy objevíte nějakou skrytou jednotu, pořád ještě zbývá pochopit, proč působí tak rozdílně.

Viděli jsme, jak skvěle zodpověděl tuto otázku Albert Einstein v případě speciální a obecné teorie relativity. Uvědomil si, že zdánlivý rozdíl nespočívá v samotných jevech, nýbrž vzniká díky tomu, jak jevy popisují různí pozorovatelé. Tímto způsobem sjednotil elektřinu a magnetismus, pohyb a klid, gravitaci a zrychlení. Rozdíly, které pozorovatelé zjišťují, jsou podmíněny jejich stavem, vyjadřují jen různý úhel pohledu jednotlivých pozorovatelů.

Po roce 1960 bylo navrženo jiné řešení tohoto problému. Rozdíly mezi jevy ve sjednocené teorii nejsou dány stavem pozorovatelů, nýbrž tím, že zákony sice mají určitou symetrii, kterou však nerespektují všechny vlastnosti světa, na něž je aplikujeme.

Ilustrujme to na příkladě zákonů, jimiž se řídí společnost. Naše zákony platí pro všechny lidi bez rozdílu. Můžeme to chápat jako symetrii těchto zákonů. Nahraďme jednu osobu druhou a nic to nezmění na zákonech, jimž podléhají. Všichni musíme platit daně, nesmíme překračovat nejvyšší povolenou rychlost. Tato symetrie zákonů však nezaručuje, že naše životní podmínky budou stejné. Někteří z nás jsou bohatší, jiní chudší. Ne všichni mají auto a u jeho majitelů se touha překračovat povolenou rychlost projevuje různou měrou.

Navíc, ideálně by všichni lidé začínali se stejnými možnostmi. Bohužel tomu tak není. Kdyby to ale pravda byla, mohli bychom hovořit o symetrii počátečních možností. Ale život se vyvíjí a počáteční symetrie mizí. Až nám bude dvacet, naše možnosti už se budou značně lišit. Jen pár z nás se může stát koncertními pianisty, jen pár olympioniky.

Tuto diferenciaci můžeme popsat tak, že počáteční rovnost je narušena situacemi, do nichž jsme se dostali a dále volbou, kterou jsme v nich činili. Mnohdy by bylo obtížné předpovědět způsob narušení počáteční symetrie. Víme sice, že se naruší, ale díváme-li se na mateřskou školku plnou dětí, těžko předpovíme jak. V takovém případě fyzik řekne, že *symetrie se naruší spontánně*. Symetrie se tedy sice nutně naruší, ale toto narušení silně závisí na náhodě. Spontánní narušení symetrie je druhým mocným principem, který leží v základu standardního modelu elementárních částic. **Můj výklad o střídání symetrií s asymetriemi : bez tohoto principu není geneze. $10^{5500} = 10^{5500} + 1$, respektive by**

ta jednička měla být napsána nad to znaménku rovnítka, protože tu je nutný výklad o principu „horkého bramboru“. Ta jednička je „přehazována zleva doprava a to tak rychle jako „horký brambor“ a tak nerovnost se mění na rovnost, protože ten brambor není ani nalevo ani napravo ani uprostřed...něco podobného jako Heisenbergův princip neurčitosti. **Elementární částice je „zamrzlý klon“ – vlnobalíček, který se nemění (což neznamená že ho nelze „rozbít, roztrhnout“ ; pak už to není elementární částice, ale „nefyzikální střep“), ale v posloupnosti geneze se vlnobalíčky napojují, vznikají prvky, sloučeniny až...až DNA.**

Uvedu jiný příklad z běžného života. Jako zaměstnanec fakulty jsem mívával příležitost navštěvovat uvítací večírky pro studenty. Když jsem pozoroval, jak se mezi sebou baví, napadlo mě, že během roku se z mnohých stanou přátelé, z některých milenci, někteří uzavřou i manželství. V okamžiku, kdy se setkávají poprvé, vládne značná symetrie – budoucí přátelské vztahy a možné lásky v této skupině ještě neexistují. **Tato symetrie se ale časem nutně naruší, z velkého prostoru možných vztahů se vydělí podstatně menší oblast vztahů skutečných. I to je příkladem spontánního narušení symetrie.**

Velká část struktury společenského i fyzikálního světa vzniká proto, že svět vyžaduje narušení symetrie v prostoru všech možností. Důležitým rysem je zde výměna symetrie za stabilitu. Střídání symetrií s asymetriemi je základní princip vesmíru Symetrická situace, ve které jsme všichni potenciálními přáteli a milenci, je nestabilní. Ve skutečnosti musíme udělat volbu a následný stav zajišťuje větší stabilitu. **Vyměnili jsme nestabilní volnost potenciality za stabilní uskutečněný stav.**

Totéž platí i ve fyzice. Běžným fyzikálním příkladem je tužka balancující na špičce. Tento stav je symetrický, dokud stojí přesně svisle na špičce. Jeden směr, kam může padat, je stejně dobrý jako kterýkoli jiný. Jde ale o nestabilní stav. Když tužka spadne – a spadnout musí – spadne náhodně nějakým směrem, který neumíme předvídat, a původní symetrie se tím naruší. Jakmile již spadla, nachází se ve stabilním stavu, ale ten už symetrii nevykazuje – zákony pohybu, jimiž se řídí, ovšem symetrii mají. Zákony symetricky popisují prostor toho, co by mohlo nastat. Skutečný svět, jehož vývoj těmto zákonům podléhá, ale vybral jednu z mnoha možností.

Tento mechanismus spontánního narušení symetrie působí i na symetrie mezi částicemi v přírodě. Když se to stane u symetrií, které podle kalibračního principu dávají vznik silám, projeví se to v rozdílech jejich vlastností. Síly se rozliší – mohou mít různý dosah i různou velikost. Před narušením symetrie mají všechny základní síly nekonečný dosah, tak jako elektromagnetismus, po něm ale mají jaderné síly jen krátký dosah. **Znovu je dobré zdůraznit, že se jedná o jeden z nejdůležitějších objevů 20. století,** protože umožňuje sjednotit síly, jež se původně zdály být naprosto odlišné.

[\(pokračování - dokončení úryvku\)](#)

Tento text je úryvkem z knihy

Lee Smolin: Fyzika v potížích

[O knize na stránkách vydavatele](#)

Moderní fyzika a sjednocení částic i sil (3)

Objev spontánního narušení symetrie měl zásadní důsledky nejen pro přírodní zákony, nýbrž i pro obecnější problém, co vlastně přírodní zákony jsou. Do té doby se věřilo, že vlastnosti elementárních částic jsou přímo určeny nějakými provždy danými přírodními zákony.

Myšlenku spojit spontánní narušení symetrie s kalibračními teoriemi vyslovili v roce 1962 François Englert a Robert Brout z Bruselu. O několik měsíců později na ni nezávisle přišel Peter Higgs z Edinburské university. Právem by se tedy mělo mluvit o EBH jevu, ujal se však název Higgsův jev. (Je to jeden z řady příkladů, kdy se něco ve vědě jmenuje podle svého posledního, nikoli prvního, objevitele.) Všichni tři také ukázali, že **důsledkem spontánního narušení symetrie je existence částice, dnes nazývané Higgsův boson.**

O pár let později, v roce 1967, zkonstruovali nezávisle na sobě Američan Steven Weinberg a pakistánský fyzik Abdus Salam užitím kombinace kalibračního principu a spontánního narušení symetrie konkrétní teorii, sjednocující elektromagnetické pole a slabou jadernou interakci. Teorie nese jejich jméno, Weinberg-Salamův model elektroslabé interakce. To už byla unifikace, jejíž důsledky představovaly důvod k oslavě – vplynuly z ní zcela nové jevy, které byly záhy experimentálně ověřeny. Jejím důsledkem je například skutečnost, že **musí existovat částice analogické fotonu, přenášející slabou jadernou sílu. Jsou tři a označují se písmenky W^+ , W^- a Z .** Experimentálně se prokázala nejen jejich existence, ale i že mají přesně takové vlastnosti, jaké předpovídá teorie.

Objev spontánního narušení symetrie měl zásadní důsledky nejen pro přírodní zákony, nýbrž i pro obecnější problém, co vlastně přírodní zákony jsou. Do té doby se věřilo, že vlastnosti elementárních částic jsou přímo určeny nějakými provždy danými přírodními zákony. Teorie spontánního narušení symetrie však vnesly do hry nový prvek – vlastnosti částic částečně závisejí na jejich historii a prostředí. Symetrie se totiž může narušit mnoha způsoby, výběr ovlivňují konkrétní podmínky jako třeba hustota či teplota. Obecněji, vlastnosti částic nezávisejí jen na rovnicích teorie, ale i na tom, které jejich řešení se v našem vesmíru uskuteční.

To znamená určitý ústup od obvyklého redukcionismu, podle něhož jsou vlastnosti elementárních částic věčné a dané absolutním zákonem. Otevírá to možnost, že některé – a možná všechny –

vlastnosti elementárních částic jsou podmíněné a že závisejí na tom, které řešení základních zákonů se realizuje v naší části vesmíru či naší éře. V různých oblastech vesmíru by mohly být různé a mohly by záviset i na čase.⁴

Ve spontánním narušení symetrie vystupuje fyzikální veličina, jejíž hodnota určuje, jak byla symetrie narušena. Veličina má polní charakter a říká se jí Higgsovo pole. Weinberg-Salamův model vyžaduje jeho existenci, jež se projevuje existencí částice zvané Higgsov boson. Tato částice přenáší sílu s Higgsovým polem spojenou. Je to jediná předpověď tohoto sjednocení elektromagnetického a slabého pole, která ještě nebyla experimentálně ověřena. Jednou z potíží, na niž zde narážíme, je skutečnost, že teorie přesně nepředpovídá hmotnost Higgsova bosonu. Tato hmotnost se stává jednou z volných konstant v teorii, která by se měla stanovit. Pro hledání Higgsova bosonu byla navržena řada experimentů, zatím ale víme jen to, že pokud existuje, pak jeho hmotnost musí být větší než 140násobek hmotnosti protonu. Pátrání po Higgsově bosonu je jedním z hlavních cílů experimentů na nejvýkonnějších urychlovačích.

Krátce po roce 1970 byl kalibrační princip užit i na silnou jadernou sílu svazující kvarky a zjistilo se, že i za tuto sílu zodpovídá kalibrační pole. Výsledné teorii se říká kvantová chromodynamika, zkráceně QCD. (Písmeno Q zde znamená „quantum“ a chromo je odvozeno z řeckého slova pro barvu. Kvarky totiž vystupují ve třech verzích, jež se formálně označují jako barvy. Jedná se více méně o žert, s barvou v běžném smyslu nemají barvy kvarků nic společného.) Také QCD odolala velmi přesným experimentálním testům. Spolu s Weinberg-Salamovým modelem proto dnes tvoří standardní model elementárních částic.

Objev, že všechny tři negravitační síly jsou odvoditelné z jediného sjednocujícího principu – kalibračního principu – je velkým úspěchem teoretické fyziky. Jeho autoři jsou opravdoví hrdinové moderní vědy. Standardní model je výsledkem dlouhé, často frustrující, experimentální a teoretické práce stovek lidí v průběhu několika desetiletí. Byl dokončen v roce 1973 a od té doby odolává všemožným útokům ze strany nových experimentů. My fyzikové se jím právem pyšníme.

Všimněme si však, co se dělo potom. Vědělo se už, že nejen elektroslabá interakce, ale i silná interakce jsou důsledkem téhož principu, a zdálo se tedy jasné, že by se měly spolu sjednotit. Ke sjednocení všech částic ovšem potřebujeme velkou symetrii, která je všechny zahrnuje. Pak bychom aplikovali kalibrační princip a z něho bychom dostaly zmíněné tři síly. Abychom částice a síly mezi nimi opět rozlišily, uděláme to tak, že každá konfigurace systému s plnou symetrií je nestabilní a stabilní konfigurace jsou asymetrické. To není těžké zařídit, neboť víme, že symetrické konfigurace v přírodě nestabilní jsou. Symetrie zahrnující všechny částice v přírodě se tedy spontánně naruší, což lze udělat tak, aby tři síly skončily s takovými vlastnostmi, jaké pozorujeme.

Cílem tohoto velkého sjednocení nebylo jen dát všem silám jednotný základ, nýbrž najít symetrii, která převrací kvarky (interagující silně) v leptony (na něž působí jen slabá interakce). Sjednotit tedy

všechny částice, aby zůstal pouze jeden druh částic a jedno kalibrační pole. Za nejslibnějšího kandidáta pro zmíněné velké sjednocení se pokládala symetrie označovaná jako SU(5). V označení je zakódováno, že symetrie přeuspořádává celkem 5 druhů částic: tři barevné kvarky jednotlivých typů a dva leptony (elektron a jeho neutrino). Teorie SU(5) nejenže sjednocovala kvarky a leptony, ale dělala to i s výjimečnou elegancí. Vysvětlovala konzistentně vše, co vystupovalo ve standardním modelu a činila nezbytnými věci dříve nahodilé. Všechny předpovědi standardního modelu z ní vyplývaly a navíc dělala i některé předpovědi nové.

Jednou z nových předpovědí byla existence procesů měnících kvarky v elektrony a neutrina, protože v SU(5) jsou kvarky, elektrony a neutrino jen různými projevy jednoho základního druhu částic. Už jsme viděli, že když se dvě veličiny sjednotí, musí existovat procesy převádějící jednu ve druhou. SU(5) skutečně takové procesy předpovídá; jsou určitou analogií radioaktivního rozpadu. To je skvělý výsledek, charakteristický pro velké sjednocení – a teorie ho jednoznačně vyžaduje.

Rozpad kvarku na elektrony a neutrino by měl pozorovatelné důsledky. Proton obsahující kvark už není jen proton – sestává z něčeho jednoduššího. Protony proto nejsou stabilní částice – podléhají jakoby radioaktivnímu rozpadu. Kdyby se to dělo často, náš svět by se celý rozpadl – vše stabilní v něm je totiž tvořeno protony. Rychlost rozpadu protonu, pokud k němu dochází, musí být tudíž velmi malá. A právě to teorie předpovídá. K jednomu rozpadu podle ní dojde jednou za 1033 let.

Přes neobyčejnou řídkost rozpadu to však lze experimentálně ověřit, protože na světě existuje nesmírné množství protonů. SU(5) tedy představovala sjednocující teorii toho nejlepšího typu: předpovídala udivující výsledky, nebyla v rozporu se známými fakty a dala se okamžitě ověřit. Extrémní vzácnost rozpadu protonů se dá vykompenzovat tím, že se jich sleduje hodně. Postaví-li se velká nádrž naplněná superčistou vodou, máme šanci, že někde v nádrži dojde k rozpadu protonu několikrát do roka. Nádrž se musí odstínit od kosmického záření – toto záření, jež stále bombarduje zemi, totiž může protony také rozbít. A pak stačí rozmístit v nádrži detektory a čekat. Při rozpadu protonu by se totiž uvolnilo značné množství energie a tu by bylo možné zaznamenat. Byly získány dostatečné finanční prostředky, v dolech hluboko pod povrchem se vystavěly nádrže a netrpělivě se čekalo na výsledek.

Uplynulo pětadvacet let a my čekáme pořád. Žádný rozpad protonu nebyl zaznamenán. Čekali jsme už dost dlouho, abychom mohli zodpovědně říci, že velké sjednocení SU(5) je chybné. Byla to krásná myšlenka, příroda ji však podle všeho nepřijala.

Nedávno jsem se setkal s přítelem z doktorských studií, Edwardem Farhim, který se zatím stal ředitelem Centra pro teoretickou fyziku na MIT (Massachusettském technologickém institutu). Už jsme se spolu vážněji nebavili tak dvacet let, ale pro rozhovor jsme našli spoustu zajímavých námětů. Diskutovali jsme, k jakému pokroku došlo v částicové fyzice za poslední čtvrtstoletí od doby, kdy jsme získali doktorát. Eddie dosáhl důležitých výsledků v částicové fyzice, nyní se však věnuje

převážně rychle se rozvíjícímu výzkumu kvantových počítačů. Zeptal jsem se ho proč a on řekl, že narozdíl od fyziky částic v kvantovém počítání známe principy, umíme z nich vyvozovat důsledky a naše vývody můžeme testovat experimentem. Pokoušeli jsme se vysledovat, v jakém okamžiku přestala být fyzika elementárních částic tím rychle se rozvíjícím oborem, který nás tak fascinoval během našich doktorských studií. Shodli jsme se, že bodem obratu bylo zjištění, že se proton nerozpadá tak, jak předpovědělo velké sjednocení SU(5). „Byl bych vsadil svůj život – no možná ne život, ale víš, jak to myslím – na to, že se protony rozpadají,“ říkal. „SU(5) byla tak nádherná teorie, všechno tam do sebe tak krásně zapadalo – ale ukázalo se, že neplatí.“ **Když předloží teorii věhlasný fyzik, tak jí vědecká obec zkoumá a dělá experimenty, když nabídne novou hypotézu laik, tak ho ponižují, urážejí, kamenují, a posílají ho do Bohnic.**

Důsledek tohoto negativního výsledku nemůžeme podceňovat. SU(5) je ten nejelegantnější způsob, jak sjednotit kvarky a leptony, a vede k jednoduché kodifikaci vlastností standardního modelu. I po čtvrtstoletí mě udivuje, že nefunguje. **Proč se mají sjednotit ? co se tím dokáže ?**

Ne že by pro nás teoretiky bylo obtížné tento neúspěch obejít. Přidáme více symetrií, takže se objeví více volných konstant. S více vhodně zvolenými konstantami zajistíme, že se proton rozpadá tak vzácně, jak si budeme přát, takže tím teorii snadno obrátíme proti zmíněnému experimentálnímu neúspěchu.

Ale škoda už se stala. Přišli jsme o šanci pozorovat překvapivý důsledek **nové hluboké myšlenky**. Ve své nejjednodušší verzi předpovídalo velké sjednocení rozpad protonu. Kdyby bylo velké sjednocení přeci jen správné, ale komplikované a mohli bychom si v něm dobu rozpadu protonu libovolně nastavit, ztratilo by svou unikátní vysvětlující hodnotu. Nadějí do velkého sjednocení vkládanou bylo, že dokáže určit hodnoty konstant ve standardním modelu. Místo toho, pokud vůbec je správné, zanáší do teorie dodatečné konstanty, které musíme doladit, abychom vyloučili nesouhlas s experimentem.

Ilustruje to obecné poučení popsané dříve. Když sjednocujeme částice a pole, riskujeme, že svět zamoříme nestabilitou. Je to proto, že zavedeme nové interakce, které mohou jednu částici měnit v druhou. Nemůžeme se jim vyhnout, tyto procesy jsou ve skutečnosti potvrzením správnosti sjednocení. Jde jen o to, zda se jedná o dobrý případ – jakým byl standardní model – dávající jednoznačné a rychle potvrditelné předpovědi, nebo o špatný případ, kdy musíme nepřírozeně s teorií manipulovat, abychom se vyhnuli nepřijatelným důsledkům. **To je dilema všech moderních teorií sjednocení.**

[1. díl úryvku](#)

[2. díl](#)

Tento text je úryvkem z knihy

Lee Smolin: Fyzika v potížích

[O knize na stránkách vydavatele](#)

[Nahoru](#) | © [IDG Czech, a.s.](#)

Zobrazit pro: mobil | [klasicky](#)