Higgsův boson

Jednou z velmi důležitých symetrií, které se objevují při popisu interakcí mezi částicemi, je i **kalibrační symetrie**. Popisuje takovou vlastnost, kdy se měřitelné veličiny, které popisuje určitá funkce, nezmění při změně této funkce o stejnou konstantu (resp. o násobek) ve všech bodech.

Přičteme-li např. ve všech bodech tělesa k potenciálu, který popisuje elektrické pole v tomto tělese, konstantu, nezmění se napětí, elektrický proud a další měřitelné elektrické veličiny. Napětí je totiž definováno jako rozdíl potenciálů, a proto se konstanty, o které se zvětší oba potenciály, navzájem odečtou. Pomocí napětí a elektrického odporu lze vypočítat elektrický proud. Změnou potenciálu se nezmění ani elektrický odpor, a proto se nezmění ani elektrický proud.

Kalibrační symetrie platí i v kvantové teorii, která popisuje elektromagnetickou interakci - v kvantové elektrodynamice. V tomto případě se pozorovatelné veličiny nemění, když je vlnová funkce popisující fyzikální systém násobena speciální konstantou (komplexní jednotkou).

Komplexní jednotka je komplexní číslo, jehož absolutní hodnota je rovna jedné. Např. $\frac{\sqrt{2}}{2}+\frac{\sqrt{2}}{2}i$.

Jestliže požadujeme, aby se tato konstanta mohla měnit v prostoročase (mluvíme pak o lokální kalibrační transformaci), musíme při požadavku neměnnosti pozorovatelných veličin při této transformaci zavádět tzv. kompenzující pole, která vedou k existenci částic s nulovou klidovou hmotností. Jedná se o dobře známé fotony, které elektromagnetickou interakci zprostředkovávají.

Steven Weinberg, Abdulas Salam a Sheldon Lee Glashow zjistili, že v případě popisu slabé interakce se lokální kalibrační symetrie narušuje. Jak už dříve zjistil skotský fyzik Peter Higgs (narozen 29. května 1929), tento jev nazývaný **spontánní narušení symetrie** zákonitě vede ke vzniku nového pole a tedy i nové neutrální částice se spinem 0. Ta byla nazvána na jeho počest **Higgsův boson**. Důsledkem existence Higgsova pole je navíc to, že některé z částic zprostředkovávajících elektroslabé interakce, které měly původně nulové klidové hmotnosti, získají výrazně vyšší klidovou hmotnost. Jimi zprostředkovávaná silová interakce tedy bude mít velmi krátký dosah. Higgsův proces, který je za uvedené „ztěžknutí“ některých částic zodpovědný, si lze představit v následující analogii s pohybem elektronů v krystalové mříži.

V krystalové mříži vzájemně interagují elektrické pole (přesněji elektrostatické pole), které vytváří kladně nabitá krystalová mříž, a pohybující se elektrony. Efektivní hmotnost elektronů je tak mnohem větší než v prostředí bez elektrického pole.

Elektrony se musí prodírat mříží, což vede ke zpomalení jejich pohybu. K podobnému zpomalení jejich pohybu by došlo i v případě, kdyby měly elektrony skutečně větší hmotnost. Síla, která je „táhne“ ve směru jejich pohybu, by se nezměnila (pokud by zůstal stejný náboj elektronu, parametry krystalové mříže a rozdíl potenciálů, v němž se elektrony uspořádaně pohybují), ale v důsledku větší hmotnosti elektronů by se podle druhého Newtonova zákona zmenšilo zrychlení. Pohyb by se tedy zpomalil.

Stejně tak znesnadňuje Higgsovo pole pohyb některých částic tak, že jejich efektivní hmotnost prudce vzroste. Existence částic způsobujících slabou interakci nazvaných W^+, W^- a Z^0, které Weinberg, Glashow a Salam ve své teorii spojující slabou interakci a elektromagnetickou interakci předpověděli, byla potvrzena na urychlovači SPS v CERNu. Klidové energie těchto částic byly určeny na 80,4 GeV a 92 GeV. Higgsovo pole však není příčinou hmotnosti pouze intermediálních bosonů slabé interakce, ale stojí i za částí hmotnosti částic hmoty.

Různé elementární částice si lze představit jako dav lidí, který běží blátem. Některé částice mají velké boty, na které se nachytá mnoho bláta. Takové částice mají velkou klidovou hmotnost. Jiné částice mají zase maličké botičky, na které se mnoho bláta nenachytá - tyto částice mají tedy malou klidovou hmotnost. Velké boty mají např. kvarky, maličké botičky pak mají např. elektrony.

Jsou ale částice, které se nad blátem vznášejí a vůbec se neumažou - mají tedy nulovou klidovou hmotnost (např. fotony). Bláto samotné pak představuje Higgsovo pole.

Jiná představa je ještě méně fyzikální: představme si místnost plnou novinářů a reportérů televizních stanic; ti budou představovat tzv. Higgsovo pole. Pokud bude touto místností procházet neznámý člověk, projde bez problémů (jeho klidová hmotnost bude tedy malá). Bude-li ale procházet Einstein nebo jiná celebrita, novináři se kolem ní nahrnou a budou klást všetečné otázky. Celebrita se davem novinářů bude pohybovat jen velmi těžko; řečeno fyzikálně: klidová hmotnost celebrity bude nyní velká. Tímto přirovnáním si tedy můžeme přiblížit chování částic. Teď si ale představme, že do místnosti nakoukne vrátný a pouze zvolá: „Blíží se Einstein!“. Novináři v místnosti se začnou shlukovat, začnou si hledat dobrou pozici pro fotografování a pro kladení otázek, někteří začnou plánovat společnou strategii. Místností se tedy bude šířit „shluk novinářů“, jehož klidová hmotnost bude také velká. A tento „shluk novinářů“ můžeme chápat jako Higgsův boson, které vyvolala pouze fáma o známé osobnosti.

Samotná teorie ovšem není schopna předpovědět klidovou hmotnost Higgsova bosonu. Odhady, které dává, se velmi liší a závisí na její variantě. Nejjednodušší z nich udávají odhad hmotnosti Higgsova bosonu v rozmezí jednonásobku a dvojnásobku klidové hmotnosti částic W^+, W^- a Z^0. Přesnější limity pro hmotnost Higgsova bosonu lze určit z měřených hmotností a dob života těžkých částic (W^+, W^- a Z^0, t-kvark). Spodní hranici klidové hmotnosti lze například zjistit ze střední doby života bosonu Z, k jehož rozpadu by měl Higgsův boson přispívat v míře nepřímo úměrné jeho hmotnosti. Střední doba života je velmi krátká a díky Heisenbergově relaci neurčitosti vede k chybě v určení hodnoty klidové hmotnosti (resp. klidové energie).

Experimenty na urychlovači LEP v CERNu změřily velmi přesně tuto chybu určení klidové energie bosonu Z na 2,4952(23) GeV. Odtud lze získat dolní odhad klidové hmotnosti Higgsova bosonu. Podobně lze získat odhady klidové hmotnosti Higgsova bosonu z porovnání hmotností bosonu W a t-kvarku. Výrazně komplikovanější je ale určení horního odhadu klidové hmotnosti této částice - a to i proto, že tato hodnota je více závislá na použitém modelu. I tyto odhady ale velmi pomohou fyzikům při hledání této částice.

Vlastnosti Higgsova bosonu:

1. předpovězen v roce 1964 Peterem Higgsem;
2. elektricky neutrální;
3. bezbarvý;
4. má nulový spin (patří mezi bosony);
5. klidová energie je 125 GeV až 126 GeV (tj. 133krát více, než je klidová energie protonu);
6. velmi krátký poločas rozpadu - řádově $10^{-21}\ s$.

© Encyklopedie Fyziky (http://fyzika.jreichl.com); Jaroslav Reichl, Martin Všetička
Licence http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/ zakazuje úpravy a komerční distribuci.