

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

S.B. Treiman
Slabé interakce

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 5 (1960), No. 4, 437--445

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137016>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1960

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

a pro D získáme vztah

$$D = \frac{1}{2,3 \cdot S_{Ag}} \cdot \frac{M}{\bar{d}} \cdot \frac{\frac{0,391}{h_d^2} + \frac{\pi}{4} \cdot \bar{d}^2}{\frac{0,786}{h_d^2} + \frac{\pi}{6} \cdot \bar{d}^2} \quad (21)$$

Z uvedeného vidíme, že mezi fotografickou hustotou a množstvím stříbra existuje složitý vztah a nikoli lineární závislost, jak předpokládali dříve autoři při sledování kinetiky vyvolávání. Je proto vhodné při přesných měřeních průběhu vyvolávání místo určování optické hustoty měřit množství stříbra analyticky.

Literatura

- [1] James T. H., *PSA Journal* 16 B, 83 (1950).
- [2] James T. H., *J. Phys. Chem.* 47, 597 (1943).
- [3] Mees C. E. K., *Theory of the Photographic Process*, Macmillan, New York 1954.
- [4] Sheppard S. E., Ballard A., *J. Frank. Inst.* 205, 659 (1928).
- [5] *Mitteilungen aus den Forschungslaboratorien der Agfa Leverkusen-München*, Bd II. Springer, Berlin 1958.

SLABÉ INTERAKCE¹⁾

S. B. Treiman (USA)

Obrovské síly, které udržují stabilním atomové jádro, nejsou ještě prozkoumány. Jedním z typů těchto sil, které se dostaly dnes — patrně dočasně — do popředí zájmu fyziků, jsou malé síly, spjaté se spontánním rozpadem a přeměnou elementárních částic.

Síly ovšem nemůžeme pozorovat. To, co pozorujeme, jsou jejich projevy, interakce. Fysikové se začali zabývat slabými interakcemi před dvanácti lety, kdy „katalog“ elementárních částic dosáhl povážlivého objemu. Dnes známe těchto částic kolem třiceti.²⁾

Ani jedna z nově objevených částic nemá nějakou úlohu ve stavbě látky v obvyklém smyslu slova. Všechny jsou nestabilní. Většina z nich se rozpadá v důsledku slabých interakcí. A právě objev slabých interakcí byl prvním ukazatelem pro systemisaci elementárních částic.³⁾

V roce 1956 objevili čínští fyzikové, působící v USA, T. D. Lee a C. N. Yang porušení zákona zachování parity.⁴⁾ Můžeme si představit, co znamená pro fyzika pád symetrie. Můžeme však najít cestu, jak se dostat z této situace,

¹⁾ С. Б. Трейман, *Слабые взаимодействия*, *Природа*, 1960, č. 1. Original v *Scientific American*, 1959, č. 3, do ruštiny přeložil Д. А. Франк-Каменецкий.

²⁾ Následující tabulka je převzata z článku Przemysław Zieliński, *Gell-mannův a Paisův pokus o systemisaci elementárních částic*, v tomto časopise, II (1957), č. 2. *Pozn. překl.*

³⁾ Viz na příklad článek, citovaný v pozn. 2). *Pozn. překl.*

⁴⁾ Viz na příklad článek *K otázce zachování parity*, v tomto časopise, III (1958), č. 5. *Pozn. překl.*

Tabulka elementárních částic

| Název částice | | Symbol | Hmotnost (v hmotkách elektronových) | Střední životní doba (v sec) | Schéma rozpadu |
|------------------|---------------------|--|--|---|--|
| Lehké částice | foton | γ | 0 | | |
| | neutrino | ν | 0 | | |
| | elektron | e^\pm | 1 | | |
| | lehké mesony L | μ^\pm $\pi^{+, -, 0}$ | $\mu^\pm : 206,9 \pm 0,2$ $\pi^\pm : 273 \pm 0,5$ | $2,1 \cdot 10^{-6}$ $2,5 \cdot 10^{-8}$ | $\mu^\pm \rightarrow e^\pm + 2\nu$ $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu$ |
| Těžké mesony K | meson μ | | $\pi^0 : 264$ | $2,5 \cdot 10^{-15}$ | $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ |
| | meson π | | | | |
| | | $K^\pm (\tau)$ | ~ 965 | $K^+ : (1,0^{+0,7}, -0,3) \cdot 10^{-8}$ | $\tau^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^\pm + \pi^-$ |
| | | $K^{+, -, 0} (\theta)$ | ~ 965 | $K^+ : (1,21^{+0,11}, -0,10) \cdot 10^{-8}$ | $\theta^\pm \rightarrow \pi^\pm + \pi^0$ |
| | | K^+ | ~ 965 | $K^+ : (1,83^{+0,35}, -0,25) \cdot 10^{-10}$ | $\theta^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-$ |
| | | $K_{\mu_2}^\pm$ | ~ 965 | $K^+ : (1,17^{+0,08}, -0,07) \cdot 10^{-8}$ | $K_{\mu_2}^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu$ |
| | | $K_{\mu_3}^\pm (K)$ | ~ 965 | | $K_{\mu_3}^\pm \rightarrow \mu^\pm + 2 \text{ neutrální}$ |
| | | $K_{e_3}^\pm$ | ~ 965 | | $K_{e_3}^\pm \rightarrow e^\pm + 2 \text{ neutrální}$ |
| | nukleony N | p n | 1836,1 1836,6 | stabilní 13 min | $n \rightarrow p + e^- + \nu$ |
| | hyperony Y | Λ^0 Σ^\pm Ξ^- | 2181 ± 1 $\Sigma^+ : 2327,4 \pm 1$ 2581 ± 10 | $(3,7^{+0,6}, -0,5) \cdot 10^{-10}$ $(3,5^{+1,5}, -1,1) \cdot 10^{-11}$ $\sim 10^{-10}$ | $\Lambda^0 \rightarrow p + \pi^-$ $\Sigma^\pm \rightarrow \pi^\pm + n, \Sigma^+ \rightarrow \pi^0 + p$ $\Xi^- \rightarrow \Lambda^0 + \pi^-$ |

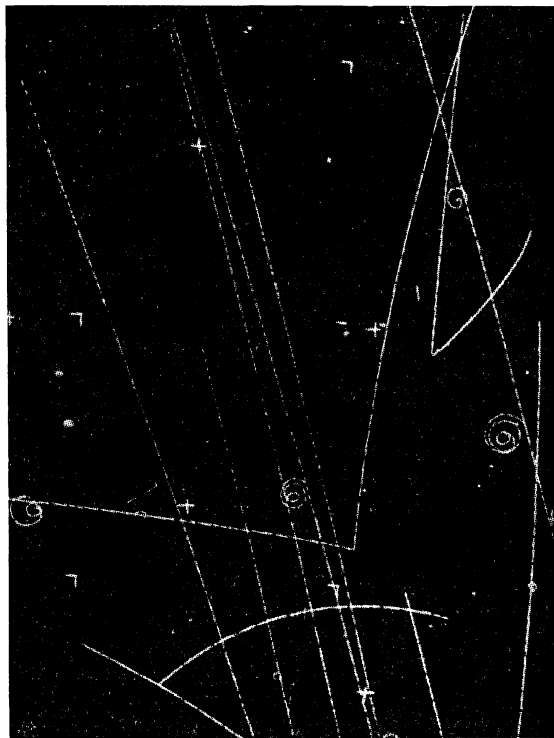
přímo odporující základním prvkům lidského myšlení. Podaří-li se nám to, zjistíme, že řád přírody je založen na jemnějších principech symetrie, než na jakých byly dosud budovány naše teorie.

Rychlost a síla interakce

Pojem tak zvané slabé a silné interakce je poněkud archaický. Fysik měří — vzato v nejširším smyslu slova — rychlost reakce, a to absolutní i relativní vzhledem k jiným reakcím. Jednou z veličin, jež určují rychlost reakce, je energie pro realizaci reakce potřebná. Jiná, ještě důležitější veličina, která vystupuje v popisu přeměny částic, je síla interakce. Tu je třeba se domluvit. Rovnice, popisující interakce, jsou velmi složité a pro jejich řešení jsou nutná zjednodušení, o jejichž oprávněnosti lze pochybovat. Kromě toho množství elementárních částic v nás vyvolává pocit neúplnosti a nedokonalosti našich teorií. Přes to má dostatečný smysl charakterizovat interakci její silou, což také osvětlovalo její zákonitosti a poskytlo klíč k hlubšímu jejímu pochopení.

Rychlosti, jež pozorujeme ve slabých a silných interakcích, jsou tak rozdílné, že můžeme tyto interakce rozdělit zcela jednoznačně do dvou tříd.

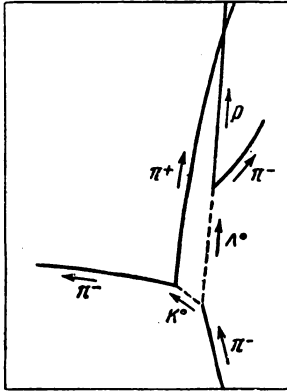
Silné interakce mají hlavní úlohu ve srážkách při velkých energiích. Jedna ze známých „silných“ srážek protonu a mesonu vede ke vzniku částice Λ a mesonu K (nová nestabilní částice, jejíž povaha není ještě jasná). Časové měřítko této interakce lze určit takto: z mnoha různých pokusů víme, že silné interakce se rychle tlumí s rostoucí vzdáleností, a projevují se na vzdálenosti ne větší než 10^{-13} cm.⁵⁾ Pozorování ukazují, že částice se při srážkách pohybují rychlostmi blízkými rychlosti světla. Pro určení časového intervalu, v němž budou částice vzájemně dostatečně blízko, aby mohlo dojít k interakci, musíme poloměr působení sil dělit rychlostí částic. Dostaneme řádově 10^{-23} vteřin (poloměr působení 10^{-13} cm, rychlost přibližně $3 \cdot 10^{10}$ cm/sec), což je přibližně doba, za kterou světlo prolétne vzdálenost, rovnou průměru částice. Aby mohlo dojít k interakci v době tak krátké, musí být interakce velmi silná.



Obr. 1. Rozpad dvou elementárních částic slabou interakcí. Stopy částic v bublinové komoře.

⁵⁾ Zhruba rozměr atomového jádra. Pozn. překl.

Časové měřítko slabých interakcí je ve srovnání s tím nepoměrně větší. Pozorování (obr. 1, 2) ukazují, že částice Λ , tvořící se při srážce částic s velkými energiemi, se rozpadá na proton a meson π za střední dobu asi $3 \cdot 10^{-10}$ vteřin. Vezmeme-li 10^{-23} vteřiny za „novou vteřinu“ (za jednotku), je 10^{-10} vteřiny rovno „milionům let“, Přes to by se mohlo říci, že „dlouhý“ časový interval je celkem krátký a že jej lze těžko měřit. Není tomu tak. Mysleme si, že se částice Λ pohybuje rychlostí rovné asi jedné třetině



rychlosti světla, což je pro obvyklé pokusy rychlost dosti malá. Za krátkou dobu svého života proletí částice dráhu dlouhou 3 cm, což je zcela dobře měřitelná makroskopická vzdálenost. Rozpad Λ , který je typický pro slabé interakce, vyžaduje doby zcela měřitelné.

Obr. 2. Schéma jevu z obr. 1. Meson π (π^-) o vysoké energii vletá do komory vpravo dole. Sráží se s protonem, čímž vzniká meson K (K^0) a částice Λ (Λ^0). (Tyto částice nezanechaly v komoře stop). Částice K^0 se pak rozpadá na mesony π^- a π^+ , částice Λ^0 na proton p a meson π^- .

Z takových pozorování vyvozujeme, že slabé interakce jsou řádově 10^{14} krát slabší než silné interakce. To není zcela přesné, neboť teorie je hrubá, Je to však tvrzení dosti překvapující. Mezi slabými a silnými interakcemi je obrovský rozdíl v síle.

Rozpad β

Nejdůležitější a nejvýznamnější slabou interakcí je tak zvaný rozpad β . Je to jeden z dějů, který byl v moderní fyzice nejdříve pozorován, a to v přirozených radioaktivních látkách. Rozpad β ukazoval nestabilitu těchto látek. V typickém případě rozpadu β se neutron samovolně rozpadne na proton a elektron. Záporně nabitý elektron vyletí, kladně nabitý proton zůstane v atomovém jádře a zvýší jeho náboj o jedničku proti stavu před rozpadem. Povaha rozpadu β byla objasněna několik let po objevu radioaktivity.

K rozpadu β dochází jen u některých jader. Proč ne u všech? R. P. Feinman (Kalifornský technologický institut) odpovídá takto: poněvadž bychom nemohli existovat a klást takové otázky. Uspokojivější je výklad, vycházející ze zákona o zachování energie:

Pro většinu jader je rozpad β „zakázán“, poněvadž hmota (massa), tedy i energie (podle vztahu $E = mc^2$) jádra je menší než součet možných produktů rozpadu. U radioaktivních látek je tomu obráceně, může se proto nestabilitou neutronů jader jejich atomů projevat na venek. Hmota neutronu převyšuje hmotu protonu a elektronu o hodnotu, odpovídající 780 000 eV — což je poměrně nevelká energie. Nestabilita neutronu vzhledem k rozpadu β musí být tedy malá. To se také ukazuje. Životní doba volného neutronu je asi 17 minut, což je nejdélejší životní doba nestabilních volných elementárních částic.⁶⁾

⁶⁾ Podle posledních měření sovětského vědce R. J. Spivaka a spolupracovníků je životní doba volného neutronu 11,7 minuty.

Přebytečná energie 780 000 eV by měla přejít v kinetickou energii produktů rozpadu. Pečlivá měření však ukazují mimo všechnu pochybnost, že tato kinetická energie je menší (nikdy větší), přičemž se mění případ od případu. Výklad je dvojitý: buď se porušuje zákon zachování energie, nebo je tu ještě jiná neznámá částice. Oba výklady byly, když se fyzikové s tímto jevem poprvé setkali, nepravděpodobné. Tehdy objev nové částice — která by v daném případě zachránila zákon zachování energie — nebyl ještě běžným zjevem, jako je tomu dnes. Nedlouho potom však přece předpověděl E. Fermi, vycházející z myšlenek W. Pauliho, existenci a vlastnosti nové částice, která nesla přebývající energii, a kterou Fermi nazval neutrino.

Na tom, že se tehdy nepodařilo neutrino pozorovat přímo, není dnes nic překvapujícího. Ze zákona zachování náboje totiž plyne, že neutrino musí být neutrální částicí. Z pozdějších pokusů s rozpadem β vyplývalo dále, že neutrino nemá takřka hmotu (massu). Teoreticky lze dokonce zdůvodnit předpoklad, že hmota neutrina je nulová. K tomu přistupuje, že neutrino není brzděno látkou, ani s ní neinteraguje. Je proto pravděpodobnost, že se neutrino bude chovat za jakýchkoli experimentálních podmínek jinak než ve vakuu mizivě malá. Přímou bylo možno neutrino pozorovat teprve v posledních letech. Bylo k tomu však třeba nesmírného experimentálního úsilí.⁷⁾

Neutrino je po všech stránkách podivnou částicí. Nese energetické manko při rozpadu β , manko impulsu a spinu, veličiny, pro něž platí podobně jako pro energii zákony zachování. Bez neutrina by nebylo rozpadu β . Sotva však neutrino vznikne, ulétá do bezedných hloubek vesmíru, a pokud víme, s ničím neinteraguje. Neutrino ze Slunce a hvězd (i z nukleárních reaktorů) prochází látkou, není však její součástí.

Nové částice

Zákon zachování energie má základní úlohu i v silných interakcích. Dojde-li k srážce dvou protonů s malými energiemi, dojde jen k výchylce ve směrech. Proton v terči dostane jistý impuls, proton, který narazil, se ve své další letové dráze jen odchýlí od původního směru — analogicky srážce dvou kulečnickových koulí. Energie, s níž se obě srazivší se částice rozletí, je táž, s jakou se srazily.

Při velkých energiích, řekněme 350 MeV, je tomu jinak. Produktem srážky je proton, neutron a nová částice, kladný meson π , jež vzniká na účet srážkové energie. Jeden proton dal tedy vzniknout neutronu a mesonu π . Zde nejde jen o novou částici, ale i o nový typ interakce.

Při energiích ještě větších dochází k dalším reakcím a vznikají nové masivnější částice: mesony K , částice Λ , částice Σ , částice Ξ .

Tyto nové částice činí stavbu látky složitější, zároveň však zjednodušují teorii, neboť umožňují energetické bilancování.

Interakce protonu s protonem umožňuje ještě jinak srovnávat slabé a silné interakce. Obvykle se jeden ze srazivších se protonů na účet energie srážky přemění v neutron a kladný meson π . Někdy však může dojít k jiné, slabé reakci. Proton by mohl využít energie srážky k přeměně v neutron plus positron plus neutrino. K takové reakci při srážkách protonů jistě někdy dochází, interakce zde je však tak slabá, že se děj ve skutečnosti ještě nepozoroval. Nastává pravděpodobně asi jednou při 10^{14} srážkách. Jsou-li obě interakce,

⁷⁾ Viz na příklad článek *Neutrino*, v tomto časopise, III (1958), č. 4. Pozn. překl.

slabé a silné, možné, pak silné interakce podstatně převládají. K slabým interakcím dojde jen tehdy, nestačí-li energetická zásoba na interakci silnou.

Slabé interakce jsou však častější, než by odpovídalo této myšlence. Elementární částice jsou, kromě fotonu, neutrina, elektronu a protonu (a příslušných antičástic) všechny nestabilní. Jen dvě z nestabilních částic se rozpadají silnými interakcemi. Všechny ostatní se rozpadají slabými interakcemi. Jejich životní doby se pohybují v širokých mezích. Variace v délce životní doby lze však v základě vysvětlit různými množstvími uvolňované energie. Analysou z hlediska vlastní síly interakce tyto variace mizí. Ve všech případech dostáváme též řád: 10^{-14} pro sílu slabé interakce.

Není pochybnosti o tom, že jde o hlubokou stránku těchto jevů. Nevíme však ještě, v čem je její podstata. Jedno je jasné. Slabost a síla nejsou, podobně jako v lidských dílech, individuální vlastností jednotlivých částic, nýbrž jsou charakteristikou určitých reakcí. Jedinou výjimku tvoří neutrino. Neutrino vystupuje jen ve slabých interakcích — je podstatně „slabou“ částicí.

„Svržení“ parity

Slabé interakce nevyvolávaly do nedávna valného zájmu. Měly jen úlohu — důležitou, i když celkem jednotvárnou — čistit oblast silných interakcí od zbytků, od nestabilních produktů po vysokoenergetických srážkách.

Když se však fyzikové začali zajímat o slabé interakce blíže, našli paradox. Zjistili narušení zákona zachování parity.

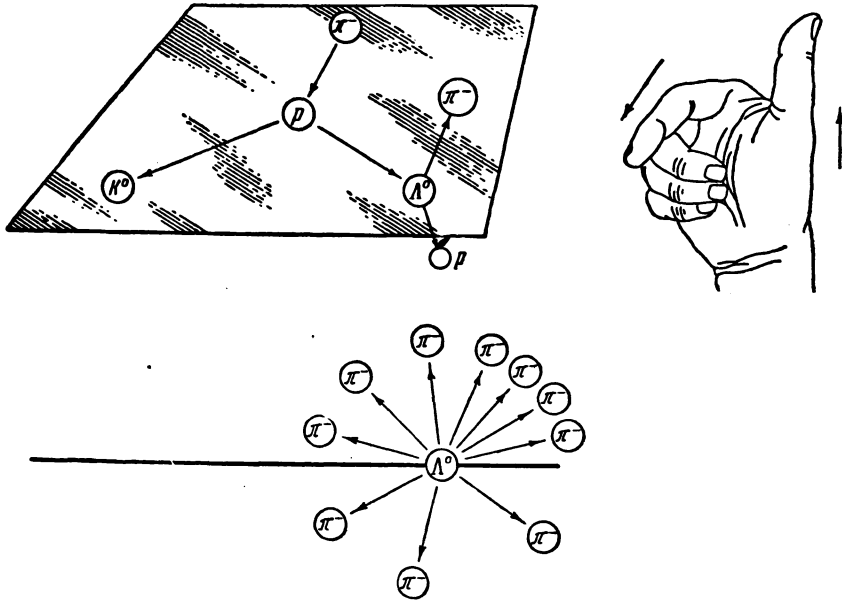
Záhada byla spojena s mesonem K . Ten se někdy rozpadá na dva mesony π , někdy na tři. To se zdálo paradoxní. Platí-li zákony zachování, měl by nastat vždy též rozpad. Vznikla domněnka, že jsou dva druhy mesonů K . Zdálo se to přijatelnější, než vzdát se zákona zachování. Nebylo však možno najít žádných znaků pro dva druhy této částice. Jediný rozdíl byl právě jen ve dvou typech rozpadu. Situace byla neudržitelná. Tu přišli (v roce 1956) oba dříve již jmenovaní čínští fyzikové Lee a Yang s tím, že princip zachování parity byl sice prověřen v silných interakcích, nikoli však ve slabých. Navrhli pokus, který by otázku zodpověděl. Odpověď skutečně přišla. Ukázalo se, že v oblasti slabých interakcí zákon zachování parity neplatí.⁸⁾

Brzy na to se došlo na Columbijské a Chicagské universitě k analogickým výsledkům, pokud jde o rozpad mesonu π a μ . I zde se ukázalo narušení platnosti zákona zachování parity. Ještě později se pak zjistil (Kalifornská universita) stejný jev při rozpadu mesonu K na meson μ a neutrino. Experimentální potvrzení přišlo pak ještě z mnoha stran — slabé interakce se dostaly do středu zájmu.

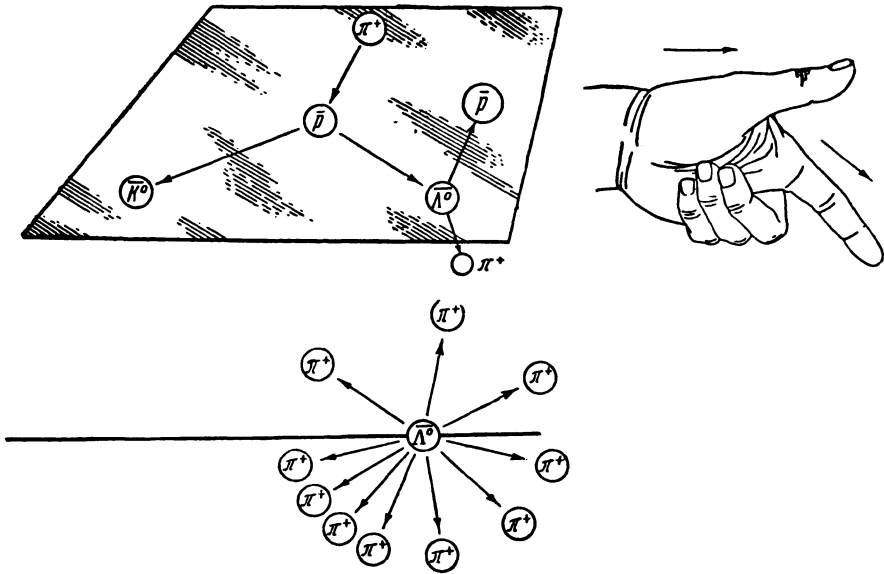
Částice Λ

Zbyly ještě některé otázky. Všechny děje, v nichž bylo přímo prokázáno porušení zákona zachování parity, měly jednu společnou charakteristiku: v produktech interakce bylo vždy alespoň jedno neutrino. Bylo by možné, že neplatnost zákona zachování parity je charakteristická jen pro neutrino — částici, která již dříve přebírala těžké závazky v teoretické fyzice? je důležité, že v záhadném rozpadu mesonu K neutrino nevystupuje, ač tento rozpad byl

⁸⁾ T. D. Lee a C. N. Yang dostali za tento objev v roce 1957 Nobelovu cenu za fyziku. Viz tento časopis, III (1958), č. 3, str. 369. Pozn. překl.



Obr. 3. V obraze je schematicky znázorněna rovina, v níž dochází k reakci: meson π^- narazí na proton p , čímž vznikají částice K^0 a Λ^0 . Částice Λ^0 se dále rozpadá na proton p a meson π^- . Dole je schéma vylétávání mesonů π^- . Rovina je tu znázorněna v horizontální poloze (vodorovná silná čára). Schéma ukazuje, že mesony π^- vylétávají hustěji „nahoru“ než „dolů“. Směr „nahoru“ je v obraze naznačen rukou (vpravo nahoře, pravidlo pravé ruky).



Obr. 4. „Antikorpuskulární“ analogon ke schématu z obrázu 3. Pruhy nad znaky částic znamenají, že jsou to antičástice (na příklad \bar{p} je antiproton). Znak π^+ označuje kladný meson π . Nahoře vpravo je vyznačeno pravidlo levé ruky. Kladné mesony π^+ vylétávají hustěji „dolů“.

impulsem k dalším podivuhodným výzkumům. V tomto případě se neplatnost zákona zachování parity prokazuje jen nepřímě. Přímý experimentální důkaz bez účasti neutrina, třeba jen v jednom případě, byl však zcela nezbytný, aby se neplatnost zákona zachování parity mohla bezpečně připsat všem slabým interakcím, jako jejich charakteristická vlastnost. Možnost takového přímého důkazu poskytla částice Λ . Experimenty v tomto směru byly provedeny v Brookhavenu a v Chicagu. V létě 1957 byly známy výsledky. I zde se ukázalo, že zákon zachování parity neplatí. Zůstalo ještě určit přesný charakter a stupeň tohoto jevu v různých slabých dějích, fakt neplatnosti zákona zachování parity je však bezpečně stanovenou vlastností slabých interakcí, odrážející zřejmě hlubokou obecnost vnitřního mechanismu těchto dějů a ostře je odlišující od silných interakcí.

Zákon zachování parity má jednoduchý klasický smysl. Říká v podstatě, že příroda nečiní rozdílu mezi „pravým“ a „levým“, vyjadřuje tedy princip geometrické symetrie přírodních jevů.⁹⁾ Lze sice uvést příklady, kdy jsou v přírodě odchylky od tohoto principu, na příklad poloha srdce v lidském těle, jde tu však jen o jednotlivá fakta, nikoli o přírodní zákon. Tento princip — sám o sobě velmi plodný — byl ve fyzice přijat, jak to někdy bývá, za zcela samozřejmý, i když se tu a tam ozývaly hlasy, že ve fyzice je velmi málo samozřejmých pravd. V moderní fyzice se také až do poslední doby žádný rozdíl v tomto směru nenašel.

Vezměme nyní příklad vzniku a rozpadu částic Λ :

Byly provedeny pokusy, v nichž se protony ostřelovaly svazkem záporně nabitých mesonů π o vysoké energii (řádově BeV). Z různých reakcí, k nimž při tom dochází, nás zajímá tato: proton plus meson π dá vzniknout částici Λ plus mesonu K . Částice Λ vyletí a pozorujeme, že se rozpadá, obvykle na záporný meson π a proton (viz obr. 2). Dráha ostřelujícího mesonu π a dráha částice Λ , která vyletěla, určují rovinu. Vznikající záporný meson π může vyletět libovolným směrem. Budeme uvažovat jen dva směry kolmé k jmenované rovině: směr „nahoru“ a směr „dolů“. Jak tyto směry určit? Smysl těchto pojmů je podmíněný. Domluvíme se, že zvolíme podle pravidla pravé ruky (obr. 3, 4).

Zákon zachování parity říká, že příroda žádný takový směr nepřivileguje. Podle principu symetrie jsou pojmy „nahoru“ a „dolů“ ekvivalentní, to jest, je stejně pravděpodobné, že zmíněný meson vyletí tím nebo oním směrem. Experimenty však ukázaly, že příroda tu rozdíl činí. Mesony vylétávají (přijmeme-li konvenci pravé ruky) častěji „nahoru“ než „dolů“.

Ještě jeden princip symetrie porušen

Krátce po tom, co se otřásl zákonem zachování parity, a ještě než začalo experimentální prověřování, začali se fyzikové zneklidňovat o osud ještě jiného principu symetrie: symetrie mezi materií a antimaterií. Také tento princip se dobře osvědčoval v silných interakcích, ve slabých však nikdy nebyl prověřován.

Princip symetrie materie a antimaterie nemá tak jednoduchý geometrický smysl, jako princip symetrie „pravého“ a „levého“. Má svůj původ v kvantové mechanice. Je však možné jeho smysl celkem jednoduše vysvětlit. Vychází

⁹⁾ Viz na příklad článek, citovaný v pozn. 4). *Pozn. překl.*

z Diracovy teorie elektronu, která brilantně popsala chování elektronů v atomech. Dovedla však z druhé strany k nečekanému výsledku — k předpovědi existence positronu. Je to „antikorpuskule“ k elektronu, „antielektron“, částice stejná jako elektron, mající však kladný elektrický náboj. Experimentálně byla objevena několik let po předpovědi své existence (Anderson, USA). Táž teorie předpověděla existenci antiprotonu a antineutronu, částice, které byly experimentálně zjištěny až v poslední době.¹⁰⁾

Dnes máme za to, že ke každé částici existuje příslušná antičástice, s výjimkou fotonu a neutrálního mesonu π , u nichž se pojmy částice a antičástice ztotožňují. Diracova teorie a její další zobecnění byla vypracována tak, že oba druhy částic jsou rovnoprávné, to znamená každé reakci mezi částicemi má odpovídat příslušná reakce mezi příslušnými antičásticemi. Je přirozené, že tato symetrie začala být jedním ze základních fyzikálních principů, dokonce „samozřejmou pravdou“.

Podívejme se na to, v příkladě rozpadu částice Λ .

Ve schématu v obr. 3 je znázorněno porušení zákona zachování parity. V obr. 4 je schéma odpovídajících dějů pro antičástice. Mysleme si nejprve, že počáteční energie antimesonu π a směr jeho letu jsou tytéž, jako v případě z obr. 3. Pak se obě schémata budou lišit jen v tom, že částice se zamění za antičástici. Princip symetrie mezi materií a antimaterií pak vyžaduje, aby i pro antičástice byl privilegovaný směr „nahoru“ (podle konvence pravé ruky). Jinak řečeno, částice i antičástice musí porušovat zákon zachování parity stejným způsobem, jinak by byl zásadní rozdíl mezi materií a antimaterií.

Skutečný pokus v tomto směru nebyl ještě proveden, ač jistě k němu dojde. Teoretická analýza této otázky vede však k takovému závěru: jestliže se symetrie mezi částicemi a antičásticemi zachovává, nemůže asymetrie mezi směry „nahoru“ a „dolů“ překročit jistou charakteristickou hodnotu, jíž lze vypočítat. V dosud provedených pokusech byla tato mez namnoze již překročena. Tudíž, meson π v antikorpuskulární reakci musí vylétávat převážně „dolů“ (podle konvence pravé ruky). Pokusy v tomto směru byly provedeny s rozpadem β a s rozpadem mesonů K , π a μ , s týmiž výsledky. Nezbyvá, než učinit závěr, že symetrie mezi materií a antimaterií se tu nezachovává, a že se pravděpodobně nezachovává ve slabých interakcích vůbec.

Fyzik ztrácí dva principy. Lze situaci zachránit?

Jedna možnost zůstává — provést záměnu v obou těchto symetriích současně. Je možné, že se tato „kombinovaná inverse“ zachová i v oblasti slabých interakcí¹¹⁾. Co znamená „kombinovaná inverse“ je jasně patrné ze schémat v obr. 3 a 4. Záměnu částice za antičástici je nutno spojit se záměnou „pravého“ a „levého“ (pravidlo pravé ruky pravidlem levé ruky).

Ukazuje se, že není nutně třeba experimentovat s antičásticemi, aby se použilo zachovávání kombinované inverse. Tento princip má důsledky, jež lze prověřit v oblasti „částicových“ reakcí. Přesné a obtížné pokusy s rozpadem β nejsou ještě skončeny, mají však přinést rozhodnutí. Za stávající situace má naději na úspěch princip kombinované symetrie.

Volně přeložil dr. Josef Veselka

¹⁰⁾ Příslušné experimenty vyžadují velkých urychlovačů elementárních částic, které byly postaveny teprve v poslední době. Viz také článek *Antiproton*, v tomto časopise, I (1956), č. 4. *Pozn. překl.*

¹¹⁾ Hypothesu této kombinované inverse předložil v zápětí za objevem neplatnosti zákona zachování parity sovětský fyzik L. D. Landau.