

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

L. van Hove

Nejnovější pokrok ve fyzice částic

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 21 (1976), No. 3, 156--161

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139714>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1976

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>

Nejnovější pokrok ve fyzice částic*)

L. van Hove, CERN, Ženeva

Výsledky získané ve fyzice vysokých energií v uplynulých třech až čtyřech letech hluboce ovlivnily naše pojetí i tak základních pojmů, jako je vnitřní struktura protonu a neutronu, dvou ze tří částic, z nichž se skládá obyčejná hmota. Naše znalosti o elektronu, třetí z těchto částic, jsou mnohem hlubší a v posledních letech se změnily jen málo.

Naším hlavním úkolem bude načrtnout to, co jsme poznali o struktuře nukleonů při nedávných experimentech, při nichž byly zkoumány srážky protonů s protony (na zařízení ISR¹) v CERN se vstřícnými svazky protonů a na americkém synchrotronu na 400 GeV ve Fermiho laboratoři²), srážky neutrin s protony a neutrony (zejména experimenty v CERN s bublinovou komorou Gargamelle obsahující těžkou kapalinu) a srážky elektronů s protony a neutrony (hlavně na elektronovém urychlovači na 20 GeV ve SLAC³)). Je pozoruhodné, že ze všech těchto experimentů začíná vyplývat dosti ucelený obraz struktury protonu a neutronu; ačkoliv mnoho jeho stránek ještě nedokážeme pochopit, tento obraz odhaluje určitou, ve své podstatě jednoduchou formu.

Zmíníme se také o objevu reakcí neutrin s jádry prostřednictvím neutrálních proudů v experimentech, které byly poprvé provedeny v r. 1973 v CERN a o objevu nových velmi těžkých mezonů, překvapivě úzkých, poprvé nalezených v BNL⁴) a ve SLAC na podzim r. 1974.

Třídy srážek protonů s protony při vysokých energiích

Při srážce protonu s protonem letí dva protony proti sobě a silně spolu interagují; srážka může proběhnout různými způsoby (obr. 1). V nejjednodušším případě pružného rozptylu po srážce vyletí právě dva protony, které mají stejnou energii E jako protony dopadající. Ve všech ostatních případech se rodí nové částice (nepružné srážky).

Při velmi vysokých energiích, jež jsou k dispozici na ISR a ve Fermiho laboratoři (energie v oblasti od 20 do 60 GeV v těžišťovém systému), tyto nepružné srážky projevují nápadné vlastnosti, které nebyly jasně rozpoznatelné při nižších energiích a připouštějí jednoduchý fenomenologický výklad. Nepružné srážky lze rozdělit na dvě základní třídy.

*) Recent Advances in Particle Physics, Europhysics News 6, 2 (1975), 1–3. Sepsáno na podkladě proslovu k radě CERN 26. června 1974; zkráceno z CERN Courier 14 (1974), 331–333 a doplněno v lednu 1975.

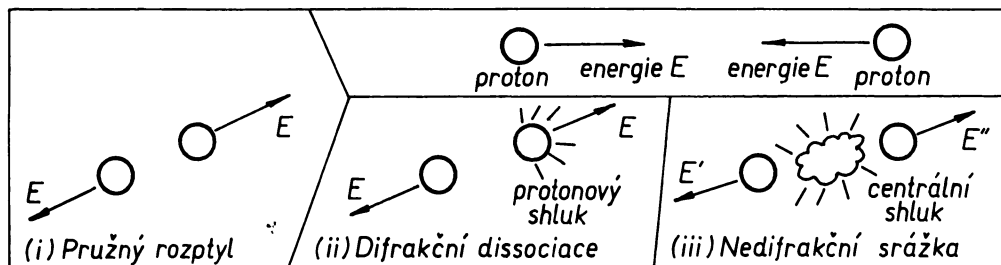
¹) Zkratka pro Intersecting Storage Rings.

²) The Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, Illinois (USA).

³) Zkratka pro Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, California (USA).

⁴) Zkratka pro Brookhaven National Laboratory, Upton, N. Y. (USA).

V první třídě zvané difrakční disociace se jeden z dopadajících protonů excituje v objekt složený z několika částic; tato skupina nebo shluk částic se obvykle skládá z nukleonu (protonu nebo neutronu) a z několika mezonů, jež společně letí ve zhruba stejném obecném směru a nesou celkovou energii přibližně rovnou E . Druhý proton vyletuje v opačném směru a má energii též přibližně rovnou E .



Obr. 1. Srážky protonu s protony.

V druhé a hlavní třídě nepružných srážek, zvaných nedifrakční, protony vycházejí v opačných směrech buď vzbuzené, nebo nevzbuzené a se značně sníženými energiemi E' a E'' , které jsou v průměru rovny asi polovině energie E dopadajících protonů. Kromě toho vyletuje značný počet jiných částic, většinou mezonů s nižší energií. Vykazují při tom zcela pozoruhodné korelace, které naznačují, že vycházejí jaksi ve shlucích po třech až čtyřech mezonech v každém, a ukazuje se, že tyto shluky jsou často neutrální (tj. úhrnný elektrický náboj shluku je často nulový). Tyto shluky, jejichž průměrný počet může být kolem tří nebo čtyř na srážku, se nazývají centrální, aby mohly být odlišeny od protonových shluků, které vznikají, když se při srážce excituje dopadající proton.

Srážky elektronů a neutrin s nukleony

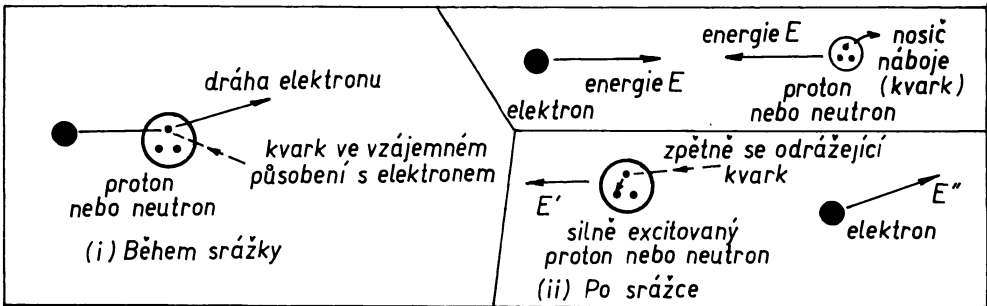
Studiem srážek elektronů o vysoké energii s nukleony můžeme získat informaci o rozdělení elektrického náboje uvnitř nukleonu. Podobně srážky vysokoenergetických neutrin s nukleony nám poskytují informaci o rozdělení té veličiny uvnitř nukleonu, jež může být nazvána slabým nábojem. (Tato veličina určuje, jak slabá interakce působí na nukleon, právě tak jako elektrický náboj určuje, jak elektromagnetická interakce, tj. elektrické a magnetické síly, působí na nukleon.)

Nejnovější experimenty s elektrony ve SLAC a experimenty s neutriny pomocí publi-nové komory Gargamelle v CERN se zaměřily na hluboce nepružné srážky, tj. srážky, při nichž je nukleon velmi silně excitován. Pomocí takových srážek můžeme měřit strukturu rozdělení nábojů uvnitř nukleonu na velmi malých vzdálenostech (v prostoročase).

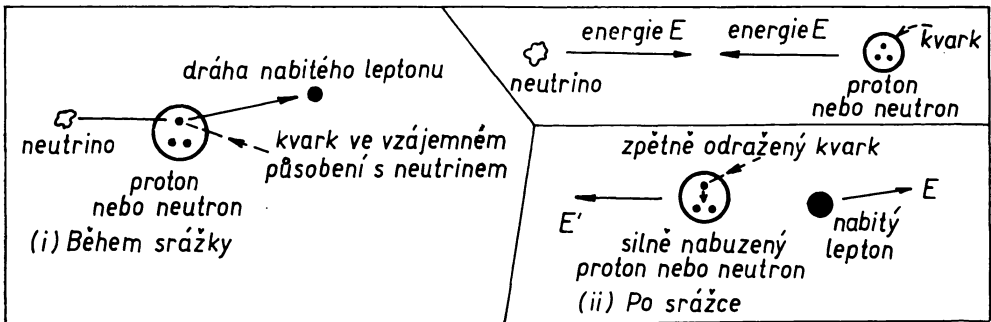
Výsledky experimentů jsou zcela pozoruhodné. V prvním přiblížení se ukazuje, že elektrické a slabé náboje nukleonů jsou soustředěny na třech malých zrnech. Tato zrna mají poloměr rovný nejvýše asi jedné desetíně poloměru nukleonu. Vyšlo najevo, že

mají stejný náboj a spin jako proslulé kvarky. Kvarky jsou pojmové stavební kameny nukleonů, mezonů atd., které byly postulovány v r. 1964 jako velmi prostý, ale neobyčejně úspěšný model pro klasifikaci všech hadronů (tj. částic, které se podílejí na silných interakcích).

Výsledný obraz hluboce nepružných srážek elektronu a neutrin na jádrech je znázorněn na obr. 2 a 3. V obou případech je při srážce zasažen právě jeden kvark, který zpětným odrazem silně excituje nukleon. Nevyletí však (to je velkou záhadou kvarků) a vzbuzený nukleon se rozdělí na mnoho částic. Věří se, že mezi nimi je obecně jeden nukleon a mnoho mezonů, ale velmi důležitá experimentální otázka, které částice to jsou a jak se podílejí na rozdělení energie zpětného odrazu, nebyla doposud prozkoumána.



Obr. 2. Srážky elektronu s nukleony.



Obr. 3. Srážky neutrina s nukleony.

Neutrino se při srážce přemění v jinou částici, jíž je některý elektricky nabitý lepton – elektron, pozitron, záporný nebo kladný mion (mezon μ) – v závislosti na typu dopadajícího neutrina. To je normální případ. Jak je dnes již dobře známo, neutrinové srážky abnormálního typu byly prokázány v r. 1973 v CERN při experimentu Gargamelle a později znovu objeveny ve Fermiho laboratoři a v Argonne [1]. Při těchto abnormálních srážkách se neutrino nepřeměňuje v nabitý lepton. Věří se (ačkoliv to není experimentálně ověřeno), že zůstává neutrinem. V terminologii fyziků se o normálních srážkách neutrin říká, že jsou typu nabitého proudu a o abnormálních, že jsou typu neutrálního.

ního proudu. Srážky elektronů jsou též typu neutrálního proudu. Experimentální výsledky výzkumu srážek neutrin typu neutrálního proudu ve spojení s důležitými novými poznatky kvantové teorie pole oživily naděje na možné teoretické sjednocení elektromagnetických a slabých interakcí. Mělo by se však zdůraznit, že objev nového typu interakcí s neutrinami má velký vědecký význam sám o sobě, a to zcela bez ohledu na to, co vyplyne jako jeho konečný teoretický výklad.

Abychom se vrátili k důsledkům experimentů ve SLAC a CERN pro vnitřní strukturu protonu a neutronu. Tyto experimenty ukázaly nejen, že náboje jsou soustředěny zejména na třech malých zrncích, která lze ztotožnit s kvarky, ale jejich podrobný výklad vede k určení zlomku energie nukleonu E , jež je nesená jedním kvarkem. U této veličiny bylo nalezeno zajímavé rozdělení se střední hodnotou kolem $\frac{1}{6}$, takže část energie nesená třemi kvarky představuje asi jednu polovinu (třikrát $\frac{1}{6}$) E . Tento neočekávaný výsledek značí, že nukleon obsahuje více než tyto tři kvarky a že dodatečná hmota, která nese zbývající polovinu energie, musí být v podstatě neutrální (bez elektrických a slabých nábojů). Pro tuto dodatečnou hmotu se často užívá název „tmel“, protože se věří, že je spojena s velmi silným polem, které je odpovědné za vazbu nebo „slepení“ kvarků uvnitř nukleonu.

Další podrobnosti o srážkách protonů s protony

Je přirozené si položit otázku, zda nově objevené vlastnosti vnitřní struktury protonů a neutronů mají něco společného s procesy, které nastávají při srážkách vysokoenergetických nukleonů. Odpověď se zdá být kladná, a to v tom smyslu, že lze stanovit zajímavé, třebaže zatím spekulativní souvislosti mezi strukturálními vlastnostmi a hlavní nedifrakční třídou nepružných srážek protonů s protony. Tím jsou i ostatní třídy automaticky spojeny se strukturálními vlastnostmi, poněvadž mohou být považovány za „stínové“ efekty.

V nejjednodušší podobě máme následující obraz: V nedifrakční srážce protonu s protonem kvarky každého dopadajícího protonu letí se svým podílem energie a vytvářejí vycházející protony (vzbuzené nebo nevzbuzené). Tmel obsažený v dopadajících protonech se přemění v centrální shluky, které se pak rozpadají ve výsledné pozorované částice (většinou mezony). Tento popis má dva přitažlivé rysy. Za prvé skutečnost, že úhrnný náboj centrálních shluků se zdá být převážně nulový, je projevem vlastnosti tmele, že je většinou neutrální. Za druhé skutečnost, že protonové energie E' a E'' jsou v průměru E , je odrazem vlastnosti kvarků uvnitř vysokoenergetického protonu, že nesou v průměru asi polovinu jeho energie.

Na ISR dále objevili, že při přechodu k vyšším energiím srážky protonů s protony produkují malý, avšak rychle rostoucí počet vysokoenergetických částic vyletujících pod velkými úhly (tj. tyto částice vyletují ve směrech značně se odchylojících od směru dopadajících protonů). Tento efekt velkých příčných hybností je mezi zkoumanými jevy jedním z nejzajímavějších.

Byly již navrženy dva typy výkladu. Na jedné straně by jev mohl být důsledkem občas probíhajících procesů, kdy kvarky dvou dopadajících protonů se spolu srazí nebo se

snad navzájem vymění, čímž způsobí značnou odchylku od původního směru pohybu (tato vlastnost může vyplývat z malého rozměru kvarků). Na druhé straně jev by mohl být způsoben občasnou produkcí výjimečně hmotného shluku, jehož rozpad by přirozeně vedl ke vzniku energetických částic vyletujících pod velkými úhly. Pečlivé studium jevu velkých příčných hybností bude možná důležitým zdrojem pokroku vedoucího k lepšímu pochopení vnitřní struktury protonu.

Na závěr tohoto odstavce se zmíníme o objevu, že totální účinné průřezy protonů a mezonů na protonech vykazují vzrůst, když energie dopadajících částic dosáhne dostatečně velké hodnoty; toto chování bylo poprvé nalezeno pro kladné kaony na protonech v Serpuchově, potom na ISR pro protony na protonech a ve Fermiho laboratoři i pro jiné případy. Tento jev může být objasněn mnoha možnými příčinami. Nejpravděpodobnější příčinou se zdá být rostoucí účinný průřez pozorovaný u difrakční disociace, avšak i jiné typy nepružných procesů snad též přispívají k tomuto jevu.

Překvapující objev nových částic

Zde načrtnutý nový obraz vnitřní struktury protonu a neutronu vznikl postupně během asi čtyř let na základě různých experimentů a teoretických úvah. Objev neutronových srážek typu neutrálního proudu v experimentu Gargamelle v CERN r. 1973 vzbudil velké nadšení mezi fyziky zabývajícími se částicemi. Další, ještě neočekávanější rozruch nastal v listopadu 1974, kdy laboratoře BNL a SLAC ohlásily současný, avšak nezávislý objev neutrálního mezonu o velmi vysoké hmotě 3,1 GeV a nezvykle úzké šířce řádu 100 keV. Tato částice, nazvaná J v BNL a ψ ve SLAC, se na protonových urychlovačích dá velmi obtížně detektovat a studovat; její nalezení na protonovém synchrotronu v BNL je tedy mimořádným experimentálním výkonem. Tyto částice se naopak hojně produkují nad pozadovým kontinuem v elektron-pozitronových anihilacích a elektron-pozitronové akumulující prstence jsou pro jejich studium ideálními urychlovači. Objev ve SLAC byl učiněn právě na prstenci SPEAR.

Za několik dní byl mezon o hmotě 3,1 GeV nalezen též ve Frascati na elektron-pozitronovém prstenci ADONE a o něco později v Hamburku na prstencích DORIS. Ještě v témže měsíci, v listopadu 1974, na prstenci SPEAR ve SLAC objevili jinou částici stejného typu o hmotě 3,7 GeV a opět s velmi malou šířkou. Ačkoliv v době psaní tohoto článku (leden 1975)⁵⁾ lze říci málo o povaze těchto nových částic, otevírají se neobyčejně bohaté a úchvatné možnosti. Zmíníme se jen o několika.

Síla vazby nových mezonů s elektrony je srovnatelná se slabými interakcemi. Jestliže nové mezony mají podobnou vazbu s neutrinami, jejich výměna při srážkách neutrin s nukleony a neutrin s elektrony by měla přispívat ke srážkám typu neutrálního proudu. To je jedna možnost, jak nové částice objevené v r. 1974 mohou souviset s novými srážkami s neutrinami objevenými o rok dříve.

⁵⁾ Do doby překladu tohoto článku (říjen 1975) bylo ohlášeno nalezení dvou dalších pravděpodobných rezonancí ψ'' (4,1 GeV) a ψ''' (4,4 GeV). Kromě toho bylo zjištěno, že rezonance ψ' (3,7 GeV) se rozpadá na další rezonance u 3,4 GeV a 3,5 GeV. (Pozn. překl.)

Lze předpokládat, že velikost všech vazeb nových mezonů bude stejná jako u slabých interakcí? Odpověď je záporná, protože těžký mezon se rozpadá se značnou pravděpodobností na jeden lehký mezon a dva piony, a zdá se, že tento rozpadový proces má intenzitu charakteristickou pro silné interakce.

Nyní se všeobecně věří, že nové částice mají také silné interakce, přičemž jejich úzké šířky jsou důsledkem vysoce účinného výběrového pravidla, jako kdyby měly nové kvantové číslo, které se zachovává při silných interakcích. Teoretici mají pro toto kvantové číslo v zásobě nejméně dva kandidáty zvané „charm“ (půvab) a „colour“ (barva). Tato kvantová čísla hrají důležitou roli v renormalizovatelných modelech kvantových polí, které již dříve byly sestrojeny s cílem sjednotit slabé a elektromagnetické interakce včetně zahrnutí struktury hadronů typu kvark – „tmel“. Většina takových schémat předpovídá neutrinové srážky typu neutrálního proudu, což představuje další možný vztah nových částic k novým neutrinovým srážkám.

Sotva lze pochybovat o tom, že nové mezony patří k nové rodině částic, a bylo by divné, kdyby tato rodina neobsahovala více členů, většinou rezonancí, ale snad také metastabilních částic. Kde je hledat nejdříve – opět v elektron-pozitronové anihilaci, a skutečně zprávy od SPEAR hlásí zřetelné maximum v anihilačním účinném průřezu kolem 4 GeV. Ve velkém pátrání, do něhož se dnes daly všechny laboratoře fyziky vysokých energií, mají svou příležitost všechny urychlovače zejména protonové, a experimentátoři zřídka stáli před takovou výzvou. Mezitím údaje od elektron-pozitronových prstenců o mezonech již objevených by měly teoretikům pomoci zúžit široké spektrum možných výkladů. Ať už je výsledek jakýkoliv, vše nasvědčuje tomu, že se píše nová kapitola fyziky částic.

Přeložil Vladimír Šachl

Literatura

[1] *Europhysics News* 5, 4 (1974), 1.

Navzdory všem současným zmatkům a protichůdnostem v nazírání na geometrii je geometrie tak krásná a tak důležitá, že jistě bude vzkvétat i nadále. Přesto však musí ti, kteří ji mají rádi, znovu přezkoumat její úkoly, promyslet detaily a bojovat za její vhodné časové umístění v osnovách. Musíme usilovat o to, aby se vyučovalo skutečné geometrii a neprováděla se jen algebraická nebo logická cvičení s geometrickou tematikou.

C. B. Allendoerfer

Některá obecná slova používá k charakteristice nových vyučovacích metod jsou „objevování řešení problémů, pozornost“. Rád bych všá, uvedl slovo, které je sice staré, ale hodí se k obecnější úvaze. Je to slovo údiv. Staří Řekové začal užívat tohoto slova v souvislosti se vzděláváními když říkali: „Údiv je počátkem vědění.“ Skutečně, údiv je lidskou reakcí na to neznámé, které se stává poznatelným. Zvědavost založená na údivu je silným motivem činnosti.

L. Raphael