

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Ladislav Janko

K objevení antiprotonu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 2 (1957), No. 2, 198--200

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137275>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1957

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>

K OBJEVENÍ ANTIPROTONU

Podle dnešních představ je atom soustava záporných elektronů, zvaných také negatrony, obíhajících kolem těžkého kladného jádra. Atomové jádro je pak složeno z kladných protonů a neutrálních částic, neutronů. Z toho, že protony v jádře se nerozletí působením odpuzivých coulombovských sil, plyne, že mezi částicemi musí působit ještě nějaké jiné síly, které udržují jádro pohromadě. K umožnění výkladu těchto vnitrojaderných sil předpověděl Yukawa existenci další částice, nazývané dnes meson π . Vnitrojaderné síly pak theorie vysvětluje neustálým přecházením protonů v neutrony a naopak, při čemž je tento přechod způsobován výměnou mesonů π .

Některé prvky mají schopnost vyzařovat ze svých jader elektrony. Takové prvky náleží mezi prvky radioaktivní a vyzařované elektrony nazýváme zářením β (přesněji β^-). Volné elektrony ovšem v jádře neexistují; musejí tam tedy vznikat. Podle Fermiho dochází k tomu tak, že se neutron rozpadne v proton, elektron a částici neutrino podle schématu $n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \nu^0$. Proč bylo nutné zavést novou částici neutrino? Energie, která se při tomto přechodu neutronu v proton uvolní, je pro daný prvek konstantní. Označme tuto energii U_k . Tato uvolněná energie by se měla projevit jako kinetická energie vyzařovaných elektronů a ta by tedy měla být také konstantní. Avšak při měření energie záření β byly naměřeny prakticky všechny hodnoty, ležící mezi nulou a U_k , jinak řečeno, bylo naměřeno spojité energetické spektrum. Tento rozpor odstranil Fermi předpokladem, že při záření β vzniká kromě elektronů další částice, neutrino, a že se energie uvolněná při přeměně rozdělí mezi elektron a neutrino tak, že součet obou energií je roven U_k .

Studium jádra a jeho vlastností se provádí tak, že se studovaný prvek ostřeluje na př. protony, neutrony, elektrony nebo částicemi α (jádra helia). Některé prvky se po takovémto bombardování stanou radioaktivní. Dnes známe celou řadu takových uměle radioaktivních látek. Některé z nich vysílají záření β^+ , t. j. částice stejné jako elektrony, až na to, že mají kladný náboj. Tyto antielektrony nazýváme positrony. Radioaktivní rozpad takových látek lze vysvětlit předpokladem, že se proton rozpadne v neutron, positron a neutrino podle schématu $p^+ \rightarrow n^0 + e^+ + \nu^0$, tedy obdobně jako u radioaktivity β^- .

Na Zemi dopadá neustále velmi složité záření, které má původ ve vesmíru; je také proto nazýváno zářením kosmickým. Dopadá na atmosféru, působí na jádra a elektronové obaly atomů a dává vznikat t. zv. sekundárnímu záření. Primární záření se pravděpodobně skládá z velmi rychlých protonů a částic α ; byla v něm však nalezena i jádra těžších prvků. Sekundární složka pak obsahuje fotony (elektromagnetické záření), elektrony, positrony, protony, neutrony, mesony, hyperony a předpokládaná, dosud však nedokázaná neutrina.

Mesony jsou částice, jejichž hmota leží mezi hmotou elektronu a protonu. Název dostaly z řeckého slova *mezos*, což znamená střední. Dnes lze pokládat za prokázanu existenci několika druhů mesonů, které se liší od sebe hmotou a druhem rozpadu. Všechny mesony jsou totiž nestabilní, t. j. samovolně se rozpadají ve dvě nebo více složek jiných. Mesony jsou obvykle označovány písmeny malé řecké abecedy. Tak na příklad známe mesony π , které mohou být kladné, záporné i neutrální (o elektricky nabitých mesonech π jsme mluvili při výkladu vnitrojaderných sil), mesony $\mu^0, \mu^\pm, \tau^\pm, \vartheta^0, \chi^\pm, \kappa^\pm, \xi^0, \xi^\pm$. V literatuře se však lze často setkat i s jiným způsobem označování.

Hmota hyperonů je naproti tomu větší než hmota protonu. Je známo několik druhů hyperonů, lišících se hmotami a schematem rozpadu; jsou totiž nestabilní. Bývají označovány písmeny velké řecké abecedy, na příklad Λ^0 , Σ^\pm .

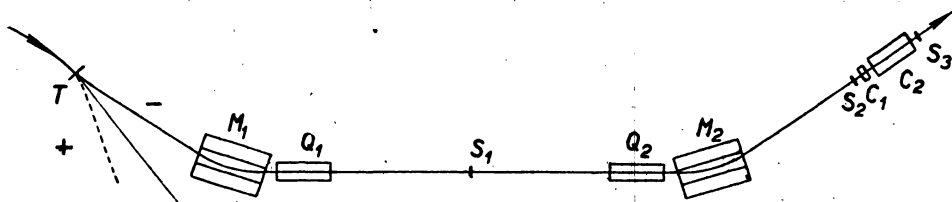
Roku 1929 vypracoval Dirac teorii, jejímž nejdůležitějším důsledkem je existence antielektronu, to jest positronu. Brzy na to byl positron skutečně experimentálně dokázán. Při studiu kosmického záření bylo totiž zjištěno, že fotony s dostatečně velkou energií mohou být pohlceny jádrem za současného vzniku elektronové dvojice, to jest záporného elektronu (negatronu) a kladného elektronu (positronu). O positronech jsme již mluvili u radioaktivity β^+ . Toto záření může tedy být důkazem existence antielektronu a tedy i jistým kriteriem správnosti Diracovy teorie.

V theoretických pracích, vztahujících se k nukleonům (částicím jádra), se obvykle předpokládá, že pro tyto částice také platí Diracova teorie. Jestliže je tento předpoklad správný, pak musejí existovat také protonové dvojice, čili vedle protonů i antiprotony, částice s hmotou protonu, ale záporným nábojem. V posledních letech se objevilo několik zpráv o tom, že při studiu kosmického záření byly pozorovány jevy, které mohly být vyvolány antiprotony; žádné přesné závěry v tomto směru však učiněny nebyly.

Teprve roku 1955 fysikové O. Chamberlain, E. Segre, C. Wiegand a Th. Ypsilantis dokázali experimentálně existenci antiprotonů. Svazkem protonů, urychlených v bevatronu¹⁾ na obrovské energie, ostřelovali měděný terč. Z ostřelovaného terče vyletovalo velké množství mesonů π a také malý počet protonových dvojic. Při pokuse na 62 000 mesonů π připadal pouze jeden antiproton; antiprotonů bylo zaznamenáno jenom 60 během celého měření.

Pokus byl založen na určování hmoty záporných částic, vyletujících z ostřelovaného měděného terče. Měření hmoty pak spočívá v současném měření impulsu částic a jejich rychlosti.

Schema měřicí aparatury je na obrázku. Svazek protonů, urychlených v bevatronu na energii větší než $4,3 \times 10^9$ eV, dopadá na měděný terčik T , odkud vyletují částice s impulsem $1,19 \times 10^9$ eV/v. Díky orientaci užitých magnetických polí přicházejí do aparatury pouze částice záporné. Dráhy těchto částic jsou polem bevatronu zakřivovány o 21° a přidavným magnetem M_1 o dalších 32° . Magnetem Q_1 jsou částice soustředovány



¹⁾ Jeden typ urychlovače nabitých částic: Viz na př. Běhounek, *Umělá radioaktivita*, str. 109. Impulsem částice rozumíme součin $p = m \cdot v$; známe-li impuls p a rychlost v , můžeme spočítat hmotu $m = \frac{p}{v}$. Impuls má tedy rozměr [hmota \times rychlost]; v atomistice je však zvykem impuls udávat v jednotkách [energie: rychlost]. Dosadíme-li za energii známý výraz $\frac{1}{2} m v^2$, je ihned vidět, že jsou oba rozměry stejné. Energií je pak zvykem udávat v elektronvoltech, zkratka eV. 1 eV je energie, kterou získá částice s jednotkovým nábojem, překoná-li potenciálový rozdíl 1 V (voltu). Nese tedy impuls označení eV/v.

do úzkého svazku (jsou fokusovány), který přichází do scintilačního počítače²⁾ S_1 . Magnetem Q_2 jsou částice znovu fokusovány a potom opět odchylovány magnetem M_2 o úhel 34° . Pak částice přicházejí do počítačů S_2 , C_1 , C_2 a S_3 . Počítače S_1 , S_2 a S_3 jsou scintilační počítače, C_1 a C_2 jsou Čerenkovovy počítače. Čerenkovovy počítače zaznamenávají pouze ty částice, které po průchodu aparaturou mají určitou hodnotu impulsu.

Částice s hmotou protonu a původním impulsem $1,19 \times 10^9$ eV/v mají $v/c = \beta = 0,78$, kde v je rychlost částice a c rychlost světla. Energie částic, vynaložená na ionisaci v počítačích S_2 , C_1 a C_2 způsobí zmenšení střední rychlosti a tedy i impulsu částic tak, že pro ně je $\beta = 0,765$. Počítač C_1 zaznamená pouze ty částice, pro něž je $\beta > 0,79$. Počítač C_2 registruje pouze částice, jejichž rychlost je taková, že pro ně platí $0,75 < \beta < 0,78$. Počítačem C_2 tedy vlastně také měříme rychlost částic.

Rychlost částic můžeme však také určit měřením doby, kterou částice potřebují k průletu mezi počítači S_1 a S_2 , vzdálenými 12,2 m. Meson s impulsem $1,19 \times 10^9$ eV/v má $\beta = 0,99$ a dobu průletu 4×10^{-8} sec., zatímco částice s hmotou protonu a stejným impulsem má $\beta = 0,78$ a dobu průletu je $5,1 \times 10^{-8}$ sec.

Odlišení antiprotonů od záporných mesonů π je možné zapojením počítačů S_1 , S_2 , C_2 a S_3 do koincidence (t. zn., že počítače zaznamenají částici pouze tehdy, když projde všemi). Tento záznam znamená: soustavou proletěla částice 1) s počátečním impulsem $1,19 \times 10^9$ eV/v, 2) s takovou rychlostí, že pro ni platí $0,75 < \beta < 0,78$ (počítač C_2) a 3) s dobou průletu přibližně 51 milimikrosekund (počítače S_1 a S_2). Počítač S_3 zajišťuje, aby byla zaznamenána jen ta částice, která se v počítači C_2 prakticky neodchýlila od svého původního směru.

Všechna tato zaznamenaná fakta říkají, že soustavou počítačů proletěla částice s hmotou protonu, ale záporného náboje.

Mohla by se vyskytnout námitka, že tato částice je záporný ion vodíku. Ten má totiž hmotu velmi přibližně rovnou hmotě protonu. Tuto možnost lze vyloučit tímto argumentem: je prakticky nemožné, aby takový záporný ion neztratil svůj druhý elektron na své dráze v měřicí aparatuře a nestal se tak elektricky neutrálním atomem vodíku; ten by pak od své přímočaré dráhy nemohl být magnety odchylován a nemůže být žádným počítačem zaznamenán.

Částici, kterou aparatura zaznamenala, nelze ztotožnit ani s těžkými mesony nebo hyperony. Tyto částice mají hmotu různou od hmoty protonu a navíc jejich střední životní doba je mnohem kratší než doba průletu pozorovaných částic celou aparaturou; jinak řečeno, mezony i hyperony nemohou proletět celou aparaturou, neboť se někde cestou rozpadnou.

Nevyvolává tedy pochyb tvrzení, že pozorované částice jsou antiprotony.

Literatura

O. Chamberlain, E. Segrè, C. Wiegand, Th. Ypsilantis, *Physical Review*, 100, č. 3, str. 929, 1955, odkud je též převzato schema aparatury.

²⁾ Druh počítače, založený v podstatě na vlastnosti některých krystalů, že při dopadu záření světélkují. Viz na př.: Pernegr—Petržilka—Tomášková, *Kosmické záření*, str. 23.