

Antihmota

K. Deriánová^{*}, J. Kubant^{**}

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1.

^{*}deriakat@fjfi.cvut.cz ^{**}kubanja7@fjfi.cvut.cz

Abstrakt

Úkolem našeho příspěvku bylo ucelené a přehledné pojednání o antihmotě. Zajímala nás nejen složitá cesta k jejímu objevení a k uznání její existence, ale i Dirackova teorie, odkud se vlastně antičástice (konkrétně pozitrony) berou (teorie Dirackova moře). Dále jsme se snažili objasnit proces anihilace mezi částicí a její antičásticí. Nakonec současné využití antihmoty (PET) a možnosti využití antihmoty v budoucnosti.

1 Historie

Ke zjištění existence antihmoty vedla poměrně dlouhá cesta, přes Bohrov model atomu a výklad stability atomu, s myšlenkami ještě klasické fyziky, pomocí níž nebylo možno vysvětlit např., jaké jsou dovolené hladiny, co se děje s elektronem během přeskočků atd.

Dalším krokem bylo, že v letech 1923-24 mladý francouzský fyzik Louis de Broglie předložil vědeckému světu odvážnou hypotézu, že nejen světlo má vlnovou i korpuskulární povahu, ale že vlnové vlastnosti má každá elementární částice. Načež Erwin Schrödinger formuloval vlnové rovnice (1926), které se staly základním kamenem nové fyziky. Schrödinger se snažil řešit problém energetických hladin elektronu relativisticky invariantní rovnicí, ale výsledky se zcela rozcházel s měřením. Vzápětí fyzik zjistil, že pokud nedodrží relativistické invariance a napíše rovnici ve zjednodušeném tvaru, jenž bude nepoužitelný pro vysoké rychlosti pohybu elektronů, dojde k ohromující shodě s naměřenými výsledky. Schrödingerova první, relativistická verze rovnice nefungovala, protože tam nepočítal s důležitou hodnotou, která byla zavedena ještě téhož roku, ukázalo se totiž, že vedle příslušného orbitálního momentu hybnosti musí mít elektron ještě vlastní moment hybnosti, nazvaný „spin“.

Správnou relativistickou rovnicí pro pohyb elektronu (se zavedením hodnot spinu do relativisticky invariantní vlnové rovnice) objevil Paul Dirac. Jelikož objev spinu vše dost zkomplikoval, musel Dirac napsat čtyři vlnové rovnice pro čtyři vlnové funkce jediného elektronu. Jeden pár vlnových funkcí odpovídá dvěma opačně orientovaným spinům elektronu, druhý pár nedával smysl. Jedna vlnová funkce odpovídá kladné hodnotě, druhá záporné hodnotě celkové energie elektronu. Dirac začal pátrat po příčinách tohoto pozoruhodného jevu, což ho nakonec dovedlo k neočekávanému závěru. Dirac totiž předstřel teorii, že záporné řešení jeho rovnic se nevztahuje k elektronu, ale k jiné částici. Podle něj má tato částice sice opačný náboj (tedy kladný), ale její další hodnoty (hmota, spin, hybnost) jsou s elektronem naprosto totožné. Jde o tedy jakéhosi dvojníka elektronu, o jeho zrcadlový obraz.

Této teorii zpočátku nikdo nevěřil, o to překvapivější bylo, když byla o 4 roky později experimentálně potvrzena americkým fyzikem Carlem Andersonem (1932). Ten ve fotografických emulzích ozářených kosmickými paprsky objevil dráhy potvrzující existenci elektronu s kladným nábojem, který nazval pozitronem. Diracova hypotéza byla tedy přijata a brzy zobecněna na všechny známé částice.

V roce 1933 obdržel Dirack Nobelovu cenu, kde při předávání nastínil zrcadlový svět z antihmoty...

Další objevenou antičásticí je antiproton (1955, Bevatron v Berkley). O rok později byl objeven antineutron, tamtéž. V roce 1965 byl vytvořen antideuteron v Národní laboratoři v Brookhavenu. Dále v roce 1995 bylo v CERNu detekováno antihélium, které mělo životnost 30 miliardtin sekundy.

2 Dirackovo moře

Dirackovo moře je nazývána Dirackova hypotéza, která říká, že vakuum není prázdné, ale naopak je zcela zaplněno elektrony a opačné pozitrony jsou vlastně jen díry po vytržení elektronu z tohoto "moře" (Podle jeho teorie lze částici udělit energii tak, aby se z vakua vytrhla). Ke zdůvodnění teorie tohoto vakua použil Pauliho vylučovací princip, z něj plyne, že interakci mezi částicemi lze zjistit pouze na základě změny energie zaznamenané přístroji. Elektrony tvořící "Dirackovo vakuum" tudíž nelze zaznamenat, protože nemohou přeskočit na jinou energetickou hladinu (protože všechny níže jsou plně obsazeny).

Dnes se předpokládá, že vakuum, které popsal Dirack je skutečně moře elektronových stavů s plně obsazenými zápornými energiemi. Toto Dirackovo moře generuje částice ve dvojicích (částice-antičástice).

3 Anihilace

Anihilací nazýváme proces, který může nastat, setká-li se částice se svou antičásticí. Pokud se částice setká se svou antičásticí, dochází k zániku obou částic. Částice se zcela přemění na energii, která je unášena tzv. nosiči polí (fotony, W a Z bosony,...). Tyto nosiče se mohou dále rozpadat na jiné částice. Při anihilaci platí zákony zachování celkové hmotnosti, energie, hybnosti, elektrického náboje a jiných veličin.

Nejnámějším příkladem anihilace je setkání elektronu a pozitronu. Při této anihilaci vzniká nejčastěji dvojice γ -fotonů, aby se zachovala hybnost, vzniklé fotony se rozletí na opačné strany.

4 Antičástice

Stejně tak jako k elektronům existují antičástice i ke všem známým částicím. Každá částice má se svou antičásticí některé veličiny totožné, např. klidovou hmotnost, spin, izospin, poločas rozpadu. Pokud má částice některou z veličin rovnou nule, pak i její antičástice má tuto veličinu rovnou nule, z tohoto důvodu mohou být některé částice svými vlastními antičásticemi jako například fotony, gluony nebo piony. Jiné veličiny mohou být stejně vysoké, ale s opačným znaménkem, např. elektrický náboj, baryonové číslo, leptonová čísla, podivnost, půvab. Dále je zajímavé, že některé fyzikální zákony platí pro antičástice jinak, např. gravitace.

Podle výsledků kosmického záření je ve vesmíru mnohem více baryonů než antibaryonů. Tuto asymetrii je možné vysvětlit nestejným počtem částic a antičástic v raném stádiu vesmíru, vzniklou nejspíše narušením CPT symetrie (CPT= el. náboj, parita, čas).

Problémové je uchování antihmoty, antihmota s veškerou hmotou okamžitě reaguje (anihiluje). Pro uchovávání antičástic existují speciální vakuové pasti, v těchto pastech je antihmota držena ve vakuu pomocí magnetů tak, aby nebyla v kontaktu s hmotou.

5 Využití

PET: Pozitronová emisní tomografie, jedná se o zatím nejlepší využití antihmoty v současné době. Pacientovi se podají radiofarmaka s velmi krátkým poločasem rozpadu, nejčastěji radioizotop 18-FDG (18F-deoxyfluorglukóza). Nádorové buňky potřebují energii, a tak mají velkou spotřebu glukózy, z tohoto důvodu se radiofarmaka dostanou k poškozeným buňkám, kde dojde k rozpadu, při kterém jsou produkovány pozitrony. Pozitrony okamžitě anihilují s elektrony na 2 γ -fotony. Tyto fotony se rozletí vzájemně opačnými směry s energií 511 KeV. Současnou interakci těchto fotonů v detektorech snímacího prstence lze zaznamenat tzv. koincidenčním detektorem. Z velkého množství (až několik set tisíc) takovýchto záznamů pak lze výpočtem rekonstruovat tomografický obraz pacienta. U nás je nejznámější PET v nemocnici Na Homolce v Praze.

ZDROJ ENERGIE: Využití antihmoty jako zdroje energie je zatím pouze v teoretické fázi. V současné době je mnohem energeticky nákladnější antihmotu vyrobit, než kolik se z ní získá energie při anihilaci s hmotou. O antihmotě jako o zdroji energie je uvažováno pro dokonalou přeměnu částic v energii při anihilaci (100% účinnost) a také proto, že způsob získávání energie pomocí anihilace je zcela ekologický.

Reference

- [1] kol. autorů, Pozitronová emisní tomografie,
http://cs.wikipedia.org/wiki/Pozitronov%C3%A1_emisn%C3%AD_tomografie
- [2] J. Kapoun, Ztracená antihmota (1): Diracovy šílené myšlenky
<http://scienceworld.cz/fyzika/ztracena-antihmota-1-diracovy-silene-myslenky-2160>
- [3] J. Kapoun, Ztracená antihmota (2): Příprava antiatomu,
<http://scienceworld.cz/fyzika/ztracena-antihmota-2-priprava-antiatomu-2140>
- [4] J. Kapoun, Ztracená antihmota (4): Pátrání po antihmotě,
<http://scienceworld.cz/fyzika/ztracena-antihmota-4-patrani-po-antihmote-2048>
- [5] Michal Schmitt, Pozitronová emisní tomografie,
<http://www.tretpol.cz/download/12/13.pdf>