Částice a antičástice

Jednou ze základních symetrií přírody je symetrie mezi **částicemi a antičásticemi**, které představují jakoby dvě zrcadlové částice:

1. téže hmotnosti, téhož spinu, se stejnou střední dobou života;
2. s opačným znaménkem elektrického náboje, magnetického momentu a některých kvantových čísel (baryonové číslo, leptonové číslo, podivnost, ...).

Antičástice se řídí stejnými fyzikálními zákony jako *obyčejné* částice. Objevu antičástic předcházela jejich teoretická předpověď. Vyplynula z relativistické kvantové teorie pohybu elektronu, kterou zformuloval v roce 1928 britský fyzik P. A. M. Dirac (1902 - 1984, Nobelova cena v roce 1933).

V jeho práci se poprvé objevuje antičástice k elektronu - pozitron. Dirac tuto antičástici předpověděl na základě výsledku řešení svých rovnic: obdržel dvě řešení, která se lišila znaménkem. Jedno řešení odpovídalo elektronu a druhé pak částici, která měla opačný náboj, ale stejnou hmotnost jako elektron.

Pozitron (antičástice elektronu) pak skutečně objevil v roce 1932 americký fyzik Carl David Anderson (1905 - 1991) v kosmickém záření.

Při srážkách částic s antičásticemi (např. elektronu s pozitronem) dochází k tzv. **anihilaci částic** a vzniku elektromagnetického záření γ: $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$.

> Termín anihilace (*nihil = nic*) není ale příliš výstižný. Ve skutečnosti nejde o přeměnu částic v „nic“, ale v částice o nulové klidové hmotnosti, tedy v přeměnu ve fotony.

Ze zákona zachování hybnosti a zákona zachování energie vyplývá, že při anihilaci musejí vznikat dva fotony, které se pohybují v navzájem opačných směrech.

Při anihilaci dochází tedy k **úplnému uvolnění energie**. Je možné, že někdy v budoucnosti bude lidstvo anihilační energie využívat. Může probíhat i proces opačný, při kterém se foton záření γ v blízkosti atomu přemění v **elektron - pozitronový pár**. Toto tvoření párů je vedle fotoefektu a Comptonova jevu jedním z mechanismů pohlcování pronikavého elektromagnetického záření látkou.

Není-li pro antičástici k částici *x* zavedena zvláštní značka, značí se tato antičástice symbolem $\bar{x}$.

Zrcadlová symetrie hmoty a antihmoty je tak dokonalá, že neexistuje žádný rozumný důvod, proč by mělo být ve vesmíru více hmoty než antihmoty. Pozorování však ukazují, že tento nepoměr je až překvapivě příkrý: odhaduje se, že dnes převažují částice nad antičásticemi v poměru $1\,\text{antičástice} : 10^9\,\text{částic}$. Aby vůbec došlo ke vzniku hmoty z částic, musela být v počáteční fázi vývoje vesmíru porušena symetrie mezi částicemi a antičásticemi. Toto porušení symetrie bylo v počátečních stadiích vývoje vesmíru v poměru $10^9\,\text{antičástic} : 10^9 + 1\,\text{částic}$.

Pravděpodobnost vzniku antičástice při srážce částic v urychlovači je stejná jako pravděpodobnost vzniku částice. Oba druhy částic jsou stejně reálné. Vzhledem k tomu, že ve vesmíru převažují částice, každá antičástice, která vznikne při srážce jiných částic, téměř okamžitě anihiluje se „svojí“ částicí. Přitom se uvolní energie. Otázky ohledně antičástic (proč anihilovaly a zůstaly jen částice, jak se liší od částic, z nichž je tvořena hmota ve vesmíru, ...) by měly pomoci zodpovědět experimenty, které probíhají na urychlovači LHC v CERNu.

V CERNu také probíhá intenzivní studium antičástic mimo urychlovač LHC: z vyrobených antičástic fyzikové už vyrobili i první atomy antivodíku. Vyrobit z antičástic celé atomy ale není jednoduché - jsou na to zapotřebí technologie srovnatelné se stavbou velkých urychlovačů (např. LHC). Technologie na zkoumání antičástic nejsou finančně tak náročné jako velké urychlovače, ale

principem se jim velmi blíží. Aby totiž antičástice mohly interagovat (ať už sami se sebou nebo s částicemi), je nutné je zpomalit. Účinný průřez, který určuje pravděpodobnost, že dojde k reakci, totiž závisí na velikosti rychlosti, kterou se částice pohybuje. Proto je nutné antičástice, které jsou produkovány při určité srážce, nejdříve zpomalit. To se provádí ve zpomalovacích prstencích, které fungují velmi podobně jako urychlovací prstence urychlovačů.

Antičástice tedy procházejí jakýmsi „zpomalovačem“.

Antičástice se již používají v praxi - zejména v medicíně:

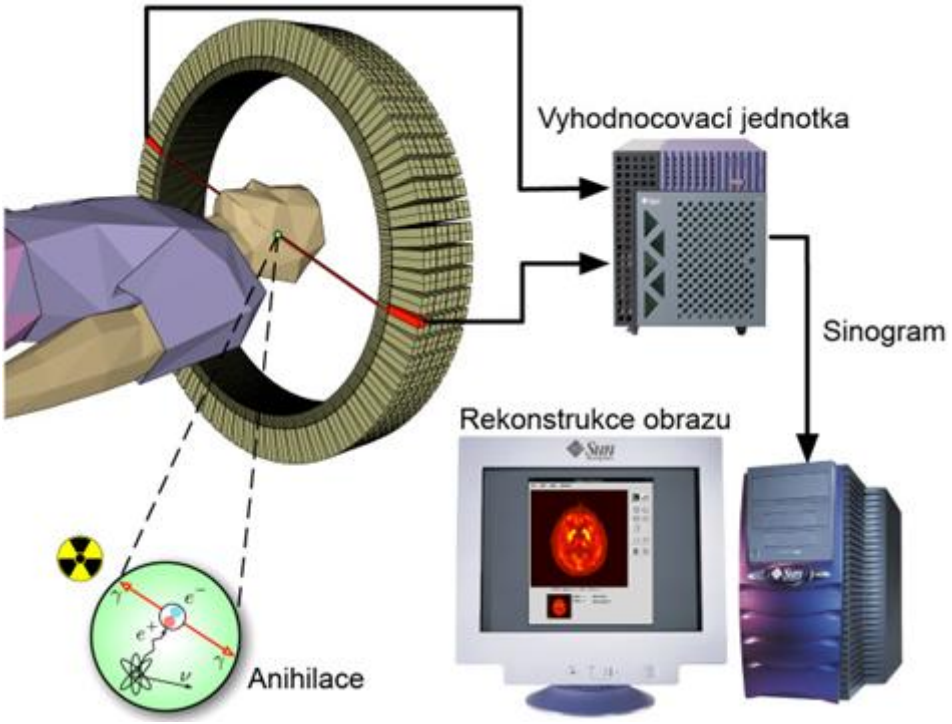
1. PET (pozitronová emisní terapie) - jedná o jadernou zobrazovací techniku nukleární medicíny , jejímž výsledkem jsou 3D obrazy vybrané části pacientova těla. Pacientovi se vpraví do krve látka s radionuklidem emitujícím pozitrony (radionuklid s krátkým poločasem rozpadu - řádově minuty). V těle pak nastává anihilace pozitronů s elektrony a uvolněnou energii (ve formě fotonů elektromagnetického záření pohybujících se v navzájem opačných směrech) absorbuje detektor kolem těla pacienta. Detektor zaznamenává γ záření vznikající anihilací. Na obr. 211 je zobrazeno celkové schéma, na obr. 212 pak detail detektoru.
   Tato metoda se úspěšně kombinuje např. s CT nebo NMR v medicíně.

Kolem pacienta je tedy detektor, který detekuje místa s vyšší (resp. nižší) energií v těle pacienta podobně jako např. detektor ATLAS detekuje částice produkované při srážce částic v trubici urychlovače.

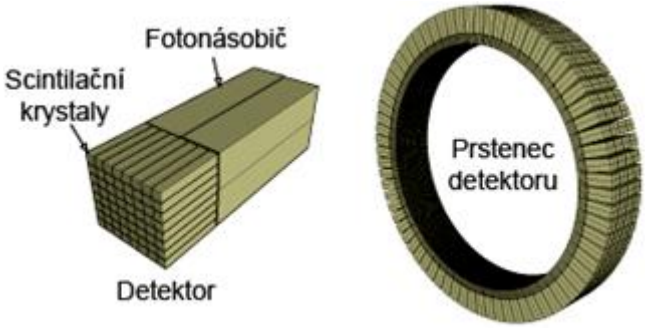
2. radioterapie - je metoda používaná např. k léčení nádorů pomocí protonů a antiprotonů. Tato metoda je dalším kvalitativním krokem k léčbě pacientů, neboť protony (nebo antiprotony) mají (na rozdíl např. od elektronů či fotonů) přesně definovaný dolet - tj. vzdálenost, kterou proletí daným prostředím. Protonová terapie se již využívá klinicky (tj. k léčbě pacientů), zatímco antiprotonová terapie je zatím ve stadiu výzkumu.

Princip antiprotonové terapie je takový, že antiprotony, které byly vpraveny do těla pacienta, mají přesně danou energii. Ta je volena tak, aby se antiprotony zastavily přesně v místě nádoru, který je potřeba odstranit (pravděpodobnost, že nastane anihilace páru částice - antičástice totiž závisí na velikosti rychlosti částic a tedy i na jejich energii). V místě nádoru se tedy anihilací uvolní relativně velká energie, které nádor zničí.

Námitka proti používání této metody by mohla upozorňovat na radioaktivní záření, které vzniká přímo v těle pacienta. Je nutné si ovšem uvědomit, že riziko, které představuje radioaktivní záření je v množství, které v těle vzniká, výrazně menší, než rizika spojená s bujícím nádorem.



Obr. 211



Obr. 212

© 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.