

Hmota & antihmota

Proč je známý vesmír tvořen právě hmotou?

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 00 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Vědci z experimentu LHCb v CERN oznámili první pozorování rozdílného chování baryonové hmoty a antihmoty. „Na tento okamžik jsme čekali 60 let,“ vysvětluje fyzik Tomáš Jakoubek, „tak dlouho totiž víme, že se tímto způsobem chovají jiné částice – mezony. Tak proč ne také baryony?“ Baryony jsou pro nás možná ještě důležitější – patří mezi ně i všudypřítomné protony, základní stavební kameny naší hmoty. Tento zásadní objev tak rozšiřuje naše chápání rozdílů mezi hmotou a antihmotou a otevírá vědcům nové cesty k pochopení, proč při vzniku vesmíru převládla právě hmota. Zmiňovaný vědecký výsledek byl nedávno s velkou slávou představen na konferenci Rencontres de Moriond v Itálii.

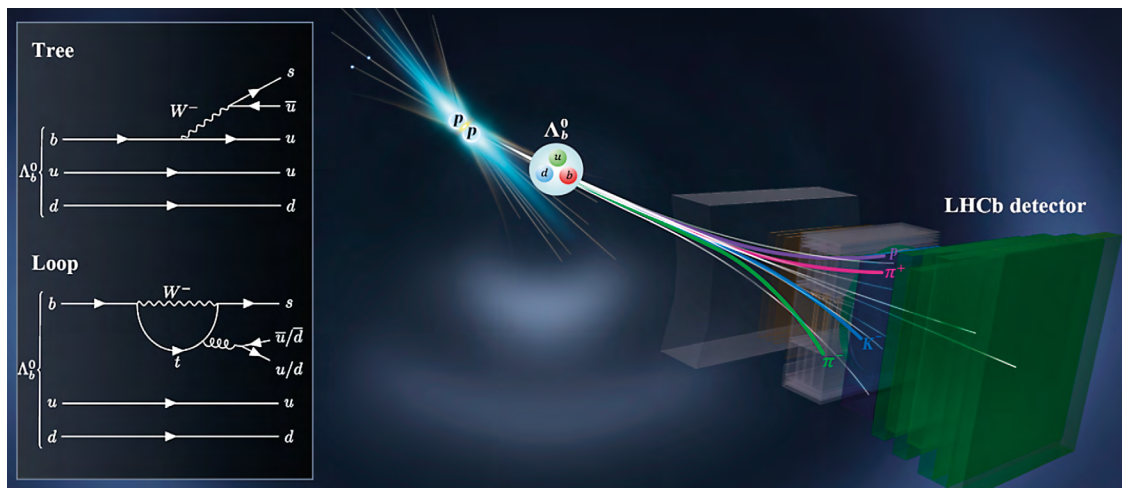
Otázkami vzniku, stavby a vývoje vesmíru jako celku se zabývá mnoho vědních oborů na rozhraní astronomie, teoretické fyziky a filozofie. Kosmologické modely předpokládají, že se při uvažovaném Velkém třesku vytvořilo stejné množství hmoty i antihmoty. Pokud se tak skutečně stalo, je třeba se ptát, proč místo toho, aby všechny částice a jejich antičástice zanikly a zanechaly po sobě pouze záření, malé množství hmoty zůstalo.

V prvním přiblížení je hmota vše, co vidíme okolo nás. Tvoří ji atomy, které se skládají z jadra a z elektronového obalu. Jádru atomu je pak tvořeno protony a neutrony. Při současném stavu poznání považujeme elektron za dále nedělitelný – jde o elementární částici. Naopak protony a neutrony se skládají z elementárních částic zvaných kvarky, které však za normálních podmínek nemohou existovat samostatně – nemůžeme pozorovat jeden samotný kvark. Složené částice pak dělíme do skupin podle jejich kvarkového složení

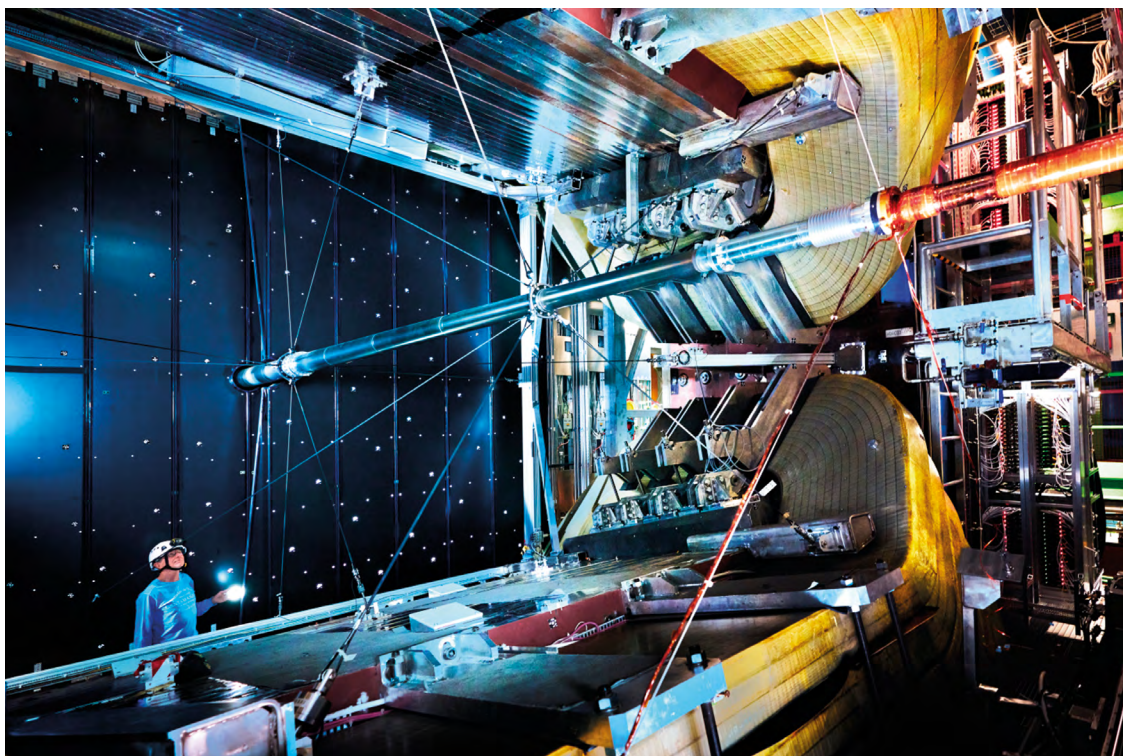
na baryony a mezony. „Oproti tomu antihmota je složena z antičástic – ty mají opačné vlastnosti než částice hmoty (např. pozitron má kladný náboj, zatímco elektron záporný). I kvarky mají své antičástice – antikvarky – a z těch můžeme „složit“ například antiproton,“ vysvětluje Tomáš Jakoubek. „Při setkání hmoty a antihmoty (resp. částice a její antičástice) dochází k anihilaci – obě zmizí a uvolní energii, případně jiné částice.“

Protože složené částice tvořené kvarkem a antikvarkem (tzv. mezony) nelze jednoznačně přiřadit ani k „normální“ hmotě, ani k antihmotě, často se antihmotou rozumí pouze antičásticová obdoba klasické atomární hmoty, tedy látka tvořená jádrem z antiprotonů a antineutronů a obalem z pozitronů.

Dříve vědci předpokládali, že by se hmota v našem světě měla chovat stejně jako antihmota v zrcadlovém světě. „Již před 60 lety však fyzikové pozorovali narušení tohoto stavu – označovaného jako CP symetrie (z angl. Charge-Parity) – u částic zvaných mezony. Stejně chová-



Ilustrace vzniku částice Λ_b^0 při srážce protonů a jejího rozpadu na konečný stav $pK^-\pi^+\pi^-$. Dvě vložená schémata vlevo znázorňují základní stromový a smyčkový proces na úrovni kvarků, které zprostředkovávají rozpad $\Lambda_b^0 \rightarrow pK^-\pi^+\pi^-$. Během těchto procesů kvarky nakonec vytvoří částice proton (p), kaon (K^-) a dva piony (π^+ a π^-), které jsou detekovány experimentem LHCb.



Detektor LHCb, který se nachází asi 100 m pod zemí v laboratoři CERN ve Švýcarsku. Tento detektor slouží k pozorování a měření částic, které vznikají při srážkách protonů v urychlovači částic LHC. Středem experimentu prochází speciální vakuová trubice – tzv. beampipe – kterou letí svazek protonů urychlovače LHC. Tato trubice má unikátní kónický tvar a je upevněna pomocí jemné podpůrné konstrukce, která minimalizuje množství materiálu v dráze částic vznikajících při srážkách.

ni tehdy vědci předpověděli i pro druhou hlavní skupinu částic – baryony –, mezi něž patří i protony a neutrony, tvořící atomová jádra,“ připomíná Tomáš Jakoubek. Teprve až urychlovač částic LHC (Large Hadron Collider) v CERN ve švýcarské Ženevě, který začal pracovat v roce 2008, poskytl během svého provozu dostatečné množství dat, jež umožnilo potvrdit tuto předpověď. „Nový objev vědců z experimentu LHCb tak otevírá dveře pro další teoretické a experimentální studie povahy narušení CP symetrie, které nám mohou ukázat cestu, kde za hranicemi standardního modelu hledat novou fyziku,“ vysvětluje fyzik Tomáš Jakoubek.

Tomáš Jakoubek působí v Oddělení experimentální fyziky částic Fyzikálního ústavu AV ČR a tomuto oboru se v CERN věnuje 15 let. O vědu a techniku se zajímal už od dětství, a to nejen díky svým rodičům, ale také kvůli seriálu MacGyver :-). „Vždycky mě zajímalo, jak věci fungují a proč? Na osmiletém gymnáziu jsem se tak nějak rozhodl pro fyziku, ale teprve na vysoké škole jsem opravdu pochopil, o čem to je, a vybral jsem si fyziku částic. Mou hlavní motivací je určitě touha po poznání a tu mají snad všichni vědci základního výzkumu stejnou.“

Nedávno se připojil k experimentu LHCb, což je jeden z detektorů na urychlovači částic LHC. Fyzikové z kolaborace LHCb pomocí něj zkoumají hlavně rozdíly mezi hmotou a antihmotou. Jde o velice složité zařízení, které dokáže měřit rozpady (nebo lépe řečeno „přeměny“) částic hmoty a antihmoty. I malé odchylky v jejich chování mohou vysvětlit, proč ve vesmíru převažuje právě hmota.

Všechny známé částice (a antičástice), jejich chování a vzájemné interakce popisuje *standardní model fyziky elementárních částic*. „I přes veškerý úspěch tohoto modelu a jeho prediktivní sílu (například předpověď Higgsova bosonu) se nejedná o dokonalou teorii, proto-

že mimo jiné nepopisuje gravitaci, nedokáže vysvětlit temnou hmotu a temnou energii, a ačkoli předpovídá narušení CP symetrie, tak v mnohem menším rozsahu, než je zapotřebí pro vysvětlení pozorované asymetrie ve vesmíru. Kvůli těmto a dalším nedostatkům fyzikové předpokládají, že standardní model bude časem rozšířen nebo nahrazen lepší teorií, stejně jako byla nakonec newtonovská mechanika nahrazena Einsteinovou obecnou teorií relativity,“ dodává Tomáš Jakoubek.

Objevy učiněné na experimentu LHCb, resp. v laboratoři CERN, jsou součástí základního výzkumu, který nemá přímou aplikaci. Mnohdy se na praktické aplikace čeká desetiletí a ty nemusejí ani přijít. Dobrým příkladem je teoretická předpověď antihmoty z roku 1928, její objev v roce 1932 a její použití v lékařství – tzv. pozitronová emisní tomografie (PET), která byla poprvé použita v roce 1976. Běžně používanou se stala však až od 90. let 20. století. Pokud bychom hledali další příklad, mohli bychom říct, že například bez teorie relativity by nemohla fungovat satelitní navigace GPS.

Výše zmiňovaný objev nám tak otevírá cestu k lepšímu pochopení, proč po velkém třesku nezanechala veškerá hmota anihilací s antihmotou, a v konečném důsledku může v budoucnu přispět k zásadním změnám v našem chápání vesmíru i k praktickým inovacím.

Ing. Tomáš Jakoubek, Ph.D., (*1985) je český fyzik. Vystudoval Fakultu jadernou a fyzikálně inženýrskou ČVUT v Praze, poté pracoval jako postdoktorand ve Weizmann Institute of Science v Izraeli. V prosinci roku 2024 se vrátil do Oddělení experimentální fyziky částic Fyzikálního ústavu Akademie věd. Od roku 2007 pracoval na experimentu ATLAS na LHC (CERN, Švýcarsko), kde se zabýval hlavně narušením CP symetrie. V současnosti se přesunul na experiment LHCb v CERN a rozšiřuje zapojení Fyzikálního ústavu do tohoto experimentu.

