

Zdroj → <http://www.regiony24.cz/aktualne/krimi/63-85351-cestovat-v-case-je-mozne--ale-jen-do-budoucnosti--rika-fyzik-hawking>

VĚDA A TECHNIKA / Věda a výzkum

Dnes 03.05.2010, 11:53

Cestovat v čase je možné, ale jen do budoucnosti, říká fyzik Hawking

Cestovat v čase je možné, má to však jedno omezení: podívat se můžeme pouze do budoucnosti, minulost pro nás zůstane navždy uzavřena. Tvrdí ?? to jeden z nejslavnějších teoretických fyziků a matematiků současnosti Stephen Hawking.

Vědec je přesvědčen, že žádné teoretické překážky pro podobné experimenty ve skutečnosti neexistují. K cestování do budoucnosti podle jeho slov stačí jen vybudovat ultrarychlou vesmírnou loď, která dokáže vyvinout 98 procent rychlosti světla.

„Od chvíle, kdy tato loď odstartuje ze Země, bude potřebovat šest let na to, aby dosáhla takové rychlosti. Díky ní se změní tok času – pro lidi na palubě stroje čas zpomalí, jejich den bude odpovídat jednomu roku na Zemi,“ popisuje astrofyzik.

Nesmysl.

Lod' pro cestování v čase přitom člověk podle Hawkinga potřebuje, aby mohl cestovat za hranice sluneční soustavy a zachovat tak lidskou civilizaci v případě rozsáhlé katastrofy na naší planetě.

Hawking přitom zdůrazňuje, že teorie, podle níž v čase existují „díry“, přes které se lze dostat do minulosti, protirečí vědeckým základům.

Fyzik rovněž poznamenává, že se zatím podobných prohlášení zdržoval, ale déle to již nemohl vydržet. *„Světová věda dlouhou dobu považovala diskuze o cestování v čase za herezi, a já jsem se proto obvykle k tomuto tématu nevyjadřoval, aby mě někdo nepovažoval za podivína. Dnes již nechci být zbytečně opatrným,“* vysvětluje své pohnutky.

Podle slov profesora Briana Coxe z Manchesterské univerzity Hawkingovu tvrzení napovídají testy ve velkém urychlovači částic LHC, které provádí v Ženevě Evropská laboratoř pro jaderný výzkum (CERN).

„Pokud v LHC zrychlíme malé částice na 99,99 procenta rychlosti světla, čas pro ně ubíhá jako sedmitisícina našeho času,“ komentoval pro Timesy.

Hawking trpí amyotrofickou laterální sklerózou, kvůli které je zcela ochrnutý. Světu je známý svou vědeckou prací popisující chování černých děr a kvantové gravitace.

Nedávno svět důrazně varoval před kontaktováním mimozemských civilizací. Podle něj sice život mimo Zemi existuje, ve vesmíru však mohou být rasy mnohem vyspělejší, než je pozemská civilizace. Setkání s některou z nich by pro člověka mohlo být fatální.

Autor / zdroj: Mediafax

*****.

Cestování časem je možné, ale jen dopředu, tvrdí Stephen Hawking



vydáno: 03.05.2010, 08:53 | aktualizace: 03.05.2010 10:22

Londýn - Slavný britský matematik a astrofyzik Stephen Hawking věří, že lidé jsou schopní cestovat v čase - ale jen dopředu. Podle něj by tak lidé mohli odcestovat miliony let do budoucnosti a znovu zalidnit tou dobou už zničenou planetu.

Jde již o druhou šokující teorii, kterou Hawking za poslední dva týdny zveřejnil v rámci přípravy svého nového dokumentárního seriálu Stephen Hawking's Universe (Vesmír Stephena Hawkinga) televizní stanice The Discovery Channel. Koncem dubna přišel s tvrzením, že ve vesmíru existuje život; mimozemšťané prý ale budou s největší pravděpodobností velmi nebezpeční a snažit se s nimi navázat kontakt může být pro lidstvo velmi riskantní.

Své teorie Hawking začal zveřejňovat, protože už se prý nebojí, že ho budou lidé mít za cvoka. "Cestování časem bylo dříve považováno za vědecké kacířství, a tak jsem o něm raději nemluvil, protože jsem se bál, že mě označí za cvoka," řekl Hawking. "Dneska už nejsem tak opatrný."

Podle něj jakmile bude postavena vesmírná loď, která dokáže letět rychlostí blízkou rychlosti světla, pak den na palubě bude odpovídat roku na Zemi. To proto, že -

podle Einsteinovy teorie - zrychlují-li objekty na cestě vesmírem, čas se kolem nich zpomalí. Pohyb časem zpátky je nemožný, dodal Hawking, protože to "porušuje základní pravidlo příčiny a následku".

Pokud by cestování časem do minulosti bylo možné, pak by člověk mohl zastřelit své dávné předky. "Věřím, že věci nemohou samy sebe učinit nemožnými," dodal Hawking.

Ovšem jakmile se jednou vesmírná plavidla přiblíží rychlosti světla, pak jejich posádky budou přeskakovat pozemské roky rychlostí dnů, což dá lidstvu šanci začít znovu. "Při plném výkonu potrvá šest let jen dosáhnout téhle rychlosti," říká Hawking.

"Po prvních dvou letech dosáhnou poloviční rychlosti světla a budou daleko mimo Sluneční soustavu. Po dalších dvou letech budou cestovat rychlostí 90 procent rychlosti světla. Po dalších dvou letech na plný výkon dosáhne plavidlo plné rychlosti, 98 procent rychlosti světla, a každý den na palubě bude jako rok na Zemi," vysvětluje vědec. "Při téhle rychlosti by cesta na okraj galaxie pro ty, kdo budou na palubě, trvala jen 80 let."

Profesor Brian Cox z Manchesterské univerzity listu The Times řekl, že Hawkingova teorie už má jistou oporu v experimentech prováděných ve velkém částicovém urychlovači Evropské organizace pro jaderný výzkum (CERN) v Ženevě. "Když zrychlíme malé částice na 99,99 procenta rychlosti světla, pak čas pro ně ubíhá jako jedna sedmitsícinina našeho času," řekl.

Hawking připouští, že je cestováním v čase posedlý. Listu Daily Mail se svěřil, že kdyby mohl, vrátil by se zpátky, aby navštívil Marilyn Monroeovou v dobách její největší slávy, anebo zaskočil za Galileem Galileim.

Autor: ČTK

www.ctk.cz

.....

Hawking už není tak opatrný

"Cestování časem bylo většinou považováno za vědecké kacířství, a tak jsem o něm raději nemluvil, protože jsem se bál, že mě označí za blázna. Dneska už nejsem tak opatrný," řekl Hawking.

03.05.2010

*****.

Zdroj → <http://scienceworld.cz/fyzika/einsteinovy-rovnice-a-stroje-casu-1878>

Einsteinovy rovnice a stroje času

[Fyzika](#) | 05.05.05

První řešení Einsteinových rovnic připouštějící cestování časem, které roku 1949 našel Gödel, bylo považováno za kuriozitu a osamocenou anomálii rovnic. Od té doby však byly objeveny tucty řešení Einsteinových rovnic, která cestování časem umožňují. Zjistilo se například, že takové je i jedno staré řešení, které roku 1936 objevil W. J. van Stockum. Toto van Stockumovo řešení obsahuje nekonečný válec, který se rychle otáčí kolem své osy podobně jako barevné reklamní tyče před starými holičskými krámkami.

Einstein však zavedl pojem relativního času, takže jedna sekunda na Zemi již nebyla jednou sekundou na Měsíci. Čas byl najednou jako stará dobrá Mississippi – kroutil se na své pouti mezi planetami a hvězdami a zpomaloval, když procházel kolem nebeských těles. Otázka, již nyní vznesl matematik Kurt Gödel, zněla: může řeka času obsahovat víry a otáčet směr svého toku? Může se rozdělovat do dvou toků a vytvářet tak paralelní vesmír? Touto otázkou se Einstein musel zabývat v roce 1949, když Gödel, Einsteinův soused v ústavu a pravděpodobně největší matematický logik minulého století, ukázal, že Einsteinovy rovnice připouštějí cestování časem. Gödel vycházel z představy vesmíru, jenž je naplněný plynem a otáčí se. Pokud byste se vydali na cestu vesmírnou lodí a obletěli kolem celého vesmíru, mohli byste zpět na Zemi doletět dřív, než jste ji opustili. Jinými slovy, v Gödelově vesmíru bylo cestování časem přirozeným jevem – člověk by při cestě kolem vesmíru běžně cestoval zpět v čase.

To Einsteina zarazilo. Zatím pokaždé, když se lidé snažili nalézt řešení Einsteinových rovnic, dospěli k výsledkům, jež – jak se zdálo – odpovídaly pozorováním. Stáčení perihelia Merkuru, rudý posuv, ohyb světla hvězd, gravitace hvězd a tak dále, to vše velmi dobře odpovídalo experimentálním datům. Nyní dávaly jeho rovnice řešení, jež zpochybňovalo veškeré naše představy o čase. Pokud by se běžně

dalo cestovat časem, nedaly by se psát dějiny. Minulost by byla jako písek unášený větrem a bylo by ji možné změnit pokaždé, když by někdo vstoupil do svého stroje času. A co je ještě horší – kdyby člověk vytvořil časový paradox, mohl by zničit samotný vesmír.

Stroje času narušují kauzalitu, což je uctívaný fyzikální princip. Z kvantové teorie nebyl Einstein příliš šťastný právě kvůli tomu, že nahradila kauzalitu pravděpodobnostmi. Gödel nyní kauzalitu zrušil úplně! Po zralé úvaze Einstein nakonec Gödelovo řešení zavrhnul, protože, jak upozornil, neodpovídá pozorovaným skutečnostem: vesmír se rozpíná a neotáčí se, takže cestování časem mohlo být odloženo – přinejmenším prozatím. Zůstávala tak ale otevřená eventualita, že pokud by se vesmír otáčel, místo aby se rozpínal, cestování časem by bylo běžnou záležitostí. Mělo ale trvat ještě dalších pět desítek let, než pojem cestování časem znovu ožil a stal se z něj důležitý výzkumný obor.

...

První řešení Einsteinových rovnic připouštějící cestování časem, které roku 1949 našel Gödel, bylo považováno za kuriozitu a osamocenou anomálii rovnic. Od té doby však byly objeveny tucty řešení Einsteinových rovnic, která cestování časem umožňují. Zjistilo se například, že takové je i jedno staré řešení, které roku 1936 objevil W. J. van Stockum. Toto van Stockumovo řešení obsahuje nekonečný válec, který se rychle otáčí kolem své osy podobně jako barevné reklamní tyče před starými holičskými krámkami. Pokud byste kolem tohoto rotujícího válce cestovali dokola, mohlo by se vám podařit vrátit se do původního místa dřív, než jste jej opustili, což je hodně podobné Gödelovu řešení z roku 1949. I když je toto řešení fascinující, spočívá jeho problém v tom, že válec musí mít nekonečnou délku. Konečný otáčející se válec zřejmě nebude fungovat. V principu lze tedy jak Gödelovo, tak van Stockumovo řešení vyloučit z fyzikálních důvodů.

Roku 1988 našli Kip Thorne a jeho kolegové na Caltechu ještě jiné řešení Einsteinových rovnic, které připouští cestování časem pomocí červí díry. Problém jednosměrné cesty horizontem událostí se jim podařilo vyřešit tak, že ukázali, že jistý nový typ červí díry je zcela průchozí. Vypočítali dokonce, že cesta takovýmto strojem času může být stejně pohodlná jako cesta letadlem.

Klíčem ke všem těmto strojům času je hmota či energie, která zakřivuje prostoročas do sebe. Abyste čas stočili do preclíku, potřebujete neskutečné množství energie, které se zcela vymyká všemu, co moderní věda zná. Na Thorneův stroj času je zapotřebí záporná hmota nebo energie (hmota či energie se zápornou hustotou). Zápornou hmotu ale ještě nikdy nikdo neviděl. Kdybyste jí kousek drželi v ruce, nepadala by dolů, ale nahoru. Hledání záporné hmoty bylo bezvýsledné. Pokud by na Zemi před miliardami let nějaká existovala, už by dávno spadla do kosmu a byla by navždy ztracena. Záporná energie ovšem doopravdy existuje a jejím důsledkem je Casimirův jev. Vezmeme-li dvě neutrální rovnoběžné kovové desky, víme, že jsou nenabitě a že se tudíž vzájemně ani nepřitahují, ani neodpuzují. Měly by tedy zůstat v klidu. Roku 1948 však Hendrik Casimir objevil neobvyklý kvantový jev. Ukázal, že tyto dvě rovnoběžné desky se budou ve skutečnosti vzájemně přitahovat malou, avšak nenulovou silou, jež byla později skutečně naměřena v laboratoři.

Thorneův stroj času lze tedy postavit takto: vezměte dvě sady rovnoběžných kovových desek. Díky

Casimirovu jevu bude mít oblast mezi deskami zápornou energii. Záporná energie uvnitř této oblasti otevře podle Einsteinovy teorie drobné dírký či bublinky v prostoročasu (menší než subatomární částice). Nyní čistě teoreticky předpokládejte, že nějaká rozvinutá civilizace, která daleko předstihla tu naši, dokáže s těmito dírkami manipulovat. Představte si, že obě sady desek vezme a vzdaluje je od sebe, dokud nebudou spojeny dlouhou trubicí neboli červí dírou. (Propojení tohoto páru rovnoběžných desek pomocí červí díry ovšem leží zcela mimo možnosti dnešní technologie.) Pak jeden pár desek pošlete na cestu raketou, jež se pohybuje téměř rychlostí světla, takže čas na palubě této raketové lodi je zpomalený. Jak jsme si říkali dříve, jdou hodiny v raketě pomaleji než hodiny na Zemi. Skočíte-li do mezery mezi deskami, které zůstaly na Zemi, budete protaženi červí dírou, jež obě sady desek propojuje, a octnete se v raketě v minulosti, v odlišném místě prostoru a času.

Od té doby se z výzkumu strojů času (neboli správněji „uzavřených časupodobných křivek“) stala živá oblast fyziky. Na toto téma vycházejí desítky článků popisujících různá schémata strojů času, které jsou ovšem vždy založeny na Einsteinově teorii. Ne všechny fyziky to ale těší. Například Stephena Hawkinga myšlenka cestování časem neuchvátila. Jednou poněkud ironicky řekl, že pokud by se dalo časem cestovat, byli bychom zaplaveni turisty z budoucnosti, ale přitom tu nikoho takového nevidáme. Kdyby stroje času byly běžné, nedaly by se zaznamenávat dějiny, protože by se změnila vždycky, když by někdo otočil ovládačem svého stroje času. Hawking prohlásil, že chce historikům zajistit bezpečný svět. Kniha T. H. Whitea nazvaná *The Once and Future King* popisuje mravenčí společenství, jež se řídí výrokem: „Vše, co není zakázáno, je povinné.“ Fyzikové si tento zákon berou k srdci, takže Hawking byl donucen postulovat „hypotézu o ochraně časového pořadí“, která stroje času úředně zapovídá. (Hawking mezitím pokusy o důkaz tohoto předpokladu vzdal. Dnes hájí názor, že stroje času jsou sice teoreticky možné, ale v praxi jsou nepoužitelné.)

Tyto stroje času se zřejmě řídí fyzikálními zákony, které již v současnosti známe. Vtip spočívá samozřejmě v tom, dostat se nějak ke zdroji této ohromné energie (kterou mají k dispozici pouze „dostatečně rozvinuté civilizace“) a ukázat, že tyto červí díry jsou skutečně stabilní vůči kvantovým korekcím a nevybuchnou ani se nezavřou, jakmile do některé z nich vstoupíte.

Měli bychom také poznamenat, že stroje času by mohly vyřešit časové paradoxy (například to, že zavraždíte své rodiče dříve, než se narodíte). Einsteinova teorie je založena na hladkých, zakřivených Riemannových plochách, takže když vstoupíme do minulosti a způsobíme časový paradox, nemůže se stát, že bychom jednoduše zmizeli. Paradoxy spojené s cestováním časem mají dvě možná řešení. Za prvé – můžou-li se v řece času tvořit víry, potom svou cestou ve stroji času minulost možná prostě jen naplníme. Znamená to, že cestování časem je možné, ale minulost nemůžeme změnit, pouze ji dovršíme. To, že jsme do stroje času vstoupili, se muselo stát. Tento názor zastává ruský kosmolog Igor Novikov, jenž říká: „Nemůžeme poslat cestovatele časem do zahrady rajské, aby vysvětlil Evě, že to jablko ze stromu nemá trhat.“ Za druhé – sama řeka času se může rozdělit na dvě řeky; to znamená, že se může otevřít paralelní vesmír. Pokud tedy zastřelíte své rodiče dřív, než se narodíte, zabili jste prostě osoby, které jsou sice geneticky totožné s vašimi rodiči, ale vašimi rodiči ve skutečnosti vůbec nejsou. Vaši vlastní rodiče vás skutečně porodili a umožnili existenci vašeho těla. Došlo k tomu, že jste přeskočili mezi naším a cizím vesmírem, takže všechny časové paradoxy jsou vyřešeny.

...

Roku 1955, se Einstein doslechl, že zemřel Michele Besso, jenž Einsteinovi pomáhal vybrušovat představy o speciální relativitě. V dojemném dopisu Bessovu synovi Einstein psal: „Na Michelelem jsem nejvíce obdivoval to, že dokázal tolik let žít s jedinou ženou, a to nikoliv pouze ve shodě, ale také v trvalé jednotě, což je něco, v čem jsem já dvakrát politováníhodně selhal. ... I v odchodu z tohoto podivného světa mě tedy opět o něco málo předešel. To však nic neznamená. Pro ty z nás, kdo věří ve fyziku, je rozlišování mezi minulostí, přítomností a budoucností pouhou, byť houževnatou, iluzí.“

Úryvek z knihy

Michio Kaku: Einsteinův vesmír

Jak vize Alberta Einsteina změnily naše chápání prostoru a času

Knihla právě vychází v nakladatelství Argo a Dokořán

Překlad Martin Žofka, váz. s přebalem, 256 stran, 269 Kč, ISBN 80-7363-015-X

Anotace vydavatele:

Rok 2005 je světovým rokem fyziky. Právě před sto lety totiž vyšly tři převratné články Alberta Einsteina. Podívejme se tedy společně na život a dílo tohoto velikána moderní vědy, jenž se nebál pochybovat o tom, co jiní měli za samozřejmé. Díky této knize pochopíme nejen hlavní fyzikální představy, jež Einsteina přivedly k velkolepým objevům, ale dozvíme se též řadu zajímavostí z jeho osobního života. Většina jeho myšlenek předběhla dobu o celá desetiletí a dodnes přinášejí fyzikům Nobelovy ceny. Einstein, jenž přes ohromující popularitu zůstal skromným a vlídným člověkem, může být i dnes vzorem každému z nás.



$$\begin{array}{l}
m_0 \cdot x_c = m \cdot x_v \\
x_c \cdot t_c = t_w \cdot x_v \\
m \cdot t_c = t_w \cdot m_0
\end{array}
\quad
\begin{array}{l}
1 \cdot 1 = \infty \cdot 0 \\
1 \cdot 1 = \infty \cdot 0 \\
\infty \cdot 1 = \infty \cdot 1
\end{array}
\quad ; \quad
\begin{array}{l}
m_0 \cdot x_{HV} = m \cdot x_c \\
x_{HV} \cdot t_v = t_w \cdot x_v \\
m \cdot t_c = t_w \cdot m_0
\end{array}
\quad
\begin{array}{l}
1 \cdot \infty = \infty \cdot 1 \\
\infty \cdot 0 = \infty \cdot 0 \\
1 \cdot 1 = \infty \cdot 0
\end{array}$$

- a) bude-li čas konstantní, posuzujeme komplementaritu : $m \cdot x_v = m_0 \cdot x_c$
b) bude-li délka konstantní, posuzujeme komplementaritu : $m \cdot t_c = m_0 \cdot t_w$
c) bude-li hmota konstantní, posuzujeme komplementaritu $x_c \cdot t_c = x_v \cdot t_w$

je-li $t = \text{const.} \rightarrow x \dots$ klesá ; $m \dots$ roste
je-li $x = \text{const.} \rightarrow t \dots$ roste ; $m \dots$ roste
je-li $m = \text{const.} \rightarrow t \dots$ roste ; $x \dots$ klesá

Využití urychlovačů

Další možností, jak zkoumat složení a strukturu materiálů, je využití urychlovačů částic. Využívá se rozptyl nebo reakce částic s jádry nebo atomy zkoumaného materiálu. Potřebujeme tedy urychlovač a soustavu detektorů, které zachycují ten druh záření, jehož produkci chceme zkoumat. Můžou to být detektory rentgenového záření, záření gama nebo různých druhů nabitých částic či neutronů.

Stejně jako u metod popisovaných v předchozí části, můžeme zbavit elektronový obal atomu jednoho elektronu. Tentokrát ionizaci způsobuje nabitá částice nebo iont z urychlovače. Chemické složení vzorku nebo předmětu pak zase určujeme z charakteristického rentgenového záření. Tato metoda se označuje anglickou zkratkou PIXE (Particle Induced X-ray Emission). Stejně tak mohou částice nebo ionty vyprodukovat jadernou reakcí radioaktivní jádro ve vybuzeném stavu, které pak vyzařuje charakteristické záření gama. V tomto případě je příslušná anglická zkratka, kterou se metoda označuje, PIGE (Particle Induced Gamma-ray Emission). V obou případech můžeme změnou geometrie ozařování a energie svazku z urychlovače měnit hloubku, v jaké ke vzniku iontů nebo radioaktivních jader dochází. Měří se tak

změna složení povrchových vrstev s hloubkou. Obrovský význam mají tyto analýzy pro studium výrobních postupů, stupně poškození artefaktů, odlišení různých vrstev obrazů, originálních a později restaurovaných částí i odhalování falzifikátů.

[Zvětšit obrázek](#)



Nová laboratoř INFN ve Florencii (Italie) s urychlovačem iontů s kanály pro různé typy analýz (PIXE, PIGE, rozptyl) a s možností urychlovačové hmotnostní spektroskopie pro radiouhlíkové datování. (Zdroj je prezentace Pier Andrea Mandò)

Další často využívanou metodou je rozptyl nabitých částic a iontů na jádrech. Dá se tak určit náboj jader (tedy, o který prvek se jedná) i struktura materiálu. V případě využití lehčích částic se studuje zpětný rozptyl způsobený pouze elektrickým polem obou jader. Anglický název metody je RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy).

Pokud zachytáváme namísto rozptýleného iontu svazku odražené jádro ze zkoumaného materiálu, jedná se o metodu s anglickým názvem ERDA (Elastic Recoil Detection Analysis). Jestliže zkoumáme krystalické materiály, lze využívat toho, že se ionty pohybují v preferovaných směrech v krystalové mříži a využít metodu „kanálování nabitých částic“ s anglickým názvem „RBS channeling“. Můžeme si položit otázku.

[Zvětšit obrázek](#)



Materiálový výzkum pomocí různých urychlovačových metod se provádí i na novém tandetromu našeho ústavu (ÚJF AVČR). Pro potřeby archeologie či analýzy uměleckých předmětů se zatím nevyužívá. V budoucnu je však tato možnost otevřená.

Proč používat tolik různých metod? Odpověď je jednoduchá. Každá z nich je úspěšná pro různé prvky, pro jiné materiály a různé struktury. Dohromady pak tvoří velmi silný a úspěšný nástroj pro naše poznání historických a uměleckých památek. Umožňuje nám získat informace i pro jejich šetrné a efektivní restaurování a konzervaci.

Využití synchrotronového (brzdného) záření

O produkci brzdného záření, vznikajícího při pohybu lehkých nabitých částic (nejčastěji elektronů), na které působí zrychlení, jsem už [psal](#) . Velice často se brzdné záření v rentgenové oblasti produkuje pomocí zrychlení, které působí na elektrony, pohybující se v kruhovém relativistickém urychlovači. Takový urychlovač se označuje jako synchrotron a produkované brzdné záření bylo pojmenováno názvem synchrotronové. Synchrotronové rentgenové záření má velmi krátkou vlnovou délku a je velmi užitečným nástrojem pro zkoumání historických artefaktů i uměleckých děl.

[Zvětšit obrázek](#)



Proslulé biblické svitky od Mrtvého moře (vlevo) a artefakty, které se našly s nimi se studovaly řadou metod, jejich datování potvrdila radiouhlíková metoda a složení nalezených zbytků látek (vpravo) bylo studováno i pomocí synchrotronového záření (zdroj ESRF newsletter).

S využitím synchrotronového záření byly zkoumány i nejstarší dochované biblické svitky nalezené v roce 1947 u Mrtvého moře. Zkoumalo se, jaká vlákna obsahují textilie nalezené na stejném místě a jaké barvy byly použity při jejich zkrášlování. Do výzkumu byla zapojena i Evropská laboratoř synchrotronového záření v Grenoblu ve Francii. Biblické svitky od Mrtvého moře byly podrobně zkoumány i popsanou radiouhlíkovou metodou a plně se potvrdil jejich původ rozložený zhruba mezi druhé století před Kristem a první století po Kristu. Výsledky pro konkrétní svitky jsou v plném souladu s výsledky paleografických metod.

[Zvětšit obrázek](#)



Večerní pohled na budovu Evropského laboratoře synchrotronového záření v Grenoblu Na její práci se podílí i čeští vědci.

Zdroj synchrotronového záření zatím v Česku není. V současnosti se zvažuje projekt jeho výstavby v Brně. Stejně jako v minulém případě není urychlovač dostatečně malé kompaktní zařízení, aby se dal převážet. Je tedy třeba umělecká díla

přepřavovat. To nemusí být jednoduché. V některých případech je to dokonce nemožné.

Využití kosmických mionů

Na závěr si ještě připomeneme jednu exotičtější metodu, jak využít jadernou fyziku pro studium historických monumentů. Už o ní na Oslu psal [Kamil Bradler](#). V současné době začíná probíhat dlouhodobý výzkum Pyramidy Slunce v mexickém Teotihuacanu pomocí detekce mionů kosmického záření, které procházejí touto stavbou. Při svém vstupu do atmosféry se protony i těžší jádra, přilétající s velmi vysokou kinetickou energií z kosmického prostoru, srážejí s atomovými jádry ve vzduchu. Při těchto srážkách vzniká i velké množství mezonů pí. Ty se rozpadají za vzniku mionů. Tyto částice jsou velmi podobné elektronům (mají stejný náboj), jen jejich klidová hmotnost je 207krát větší. Miony se sice také rozpadají, jejich doba života je však delší. Pokud by nefungovala speciální teorie relativity, nedoletěly by i tak na zemský povrch. Díky dilataci času plynoucí z této teorie je však můžeme pozorovat na povrchu Země i v podzemí. Miony s vysokou energií interagují s hmotou relativně málo a tak pronikají i značně hluboko.

[Zvětšit obrázek](#)



Pyramida Slunce v mexickém Teotihuacanu má čtvercovou základnu o rozměrech 215 m a její výška je skoro 70 m .

Dostanou se tak i hluboko do pyramidy. Při průchodu materiálem dochází k jejich rozptylu. V dutinách uvnitř pyramidy však k rozptylu mionů docházet nebude. Pokud tedy umístíme uvnitř pyramidy i okolo ní detektory mionů, které dokáží zaznamenat směr jejich příchodu, můžeme udělat její třírozměrné skenování. V případě dutin nebudou z jejich směru přicházet rozptýlené kosmické miony. Přicházející primární miony budou v tomto směru ovlivněny méně, než kdyby tam volný prostor nebyl, a bude jich odtud přicházet více. Podobnou metodou prokázal v šedesátých letech Luis Alvarez u Chefrénovy pyramidy v Gize v Egyptě, že v ní žádné skryté dutiny nejsou. L. Alvarez umístil detektor mionů do komory uvnitř Chefrénovy pyramidy a zaměřil se hlavně na detekci mionů přicházejících zhruba z vertikálního směru. Nezaznamenal vliv skrytých komor. Dvacet let po jeho měření upozornili francouzští architekti, že podobné komory v Cheopsově pyramidě mají strop z jiného materiálu, který absorbuje miony více a mohl by vliv podobné komory v Chefrénově pyramidě maskovat. V tom případě by mohla být dutina objevena detektorem, který by byl umístěn vně pyramidy a zaměřil by se na miony přicházející spíše z horizontálního směru skrz pyramidu.

[Zvětšit obrázek](#)



Luis W. Alvarez a jeho experimentální zařízení (zdroj je prezentace, kterou připravili Justen Cheers, Kathleen Hoover a Gustavo Rivera)

Tyto miony by stropem neprocházely. Možnosti využití horizontálních mionů ukázal už i Alvarezův experiment, který pomocí nich viděl i stín vytvářený absorpcí mionů Cheopsovou pyramidou, která je blízko pyramidy Chefrénovy. Taková nová měření se zatím neuskutečnila.

Pyramida Slunce v Teotihuacanu má mnohem složitější tvar a její složení je méně homogenní, takže analýza získaných dat bude složitější. Měření začíná podobně

jako původní Alvarézova v komoře uvnitř pyramidy. Uvažuje se však, že by se v případě dostatku finanční podpory umístily další detektory do jiných míst a využilo by se i detekce mionů v horizontálním směru a rozptýlených mionů. Získal by se tak opravdu co nejkompletnější třírozměrný obraz pyramidy. Samotná měření budou dlouhodobá a jejich průběh se plánuje na několik let. Pokud však budou úspěšná, mohl by to být velký impuls pro další využívání této metody.

Nalezení pohřebních komor v Pyramidě Slunce, pokud existují, by mělo obrovský význam pro poznání stavitelů komplexu v Teotihuacanu, který vznikl v prvních stoletích našeho letopočtu, a o jeho tvůrcích je zatím známo jen velmi málo.

*****.

Co přinese LHC pro kosmologii?

aneb

co lze vyhlížet v roce spuštění současného největšího urychlovače na světě.

„Nejnepochopitelnější věcí na vesmíru je to, že je pochopitelný.“

Albert Einstein

„Díky posledním pokrokům se v ohnisku pozornosti ocitly nové záhady. ... Týkají se onoho prvního, pranepatrného zlomečku sekundy po velkém třesku, kdy vládly natolik extrémní podmínky, že fyziku, jež tehdy platila, prozatím neznáme ... Během tohoto počátečního

okamžiku bylo všechno stlačeno na tak nezměrně vysokou hustotu, že se v ní kosmos a mikrosvět prolínaly v jednom.“

Martin Rees: „Pouhých šest čísel“

Na listopad roku 2007 se připravuje v mezinárodní evropské laboratoři CERN spuštění v současnosti největšího urychlovače na světě LHC (Large Hadron Collider – velký hadronový urychlovač vstřícných svazků). Nyní je tedy velmi dobrá doba podívat se na to, co můžou přinést experimenty na tomto urychlovači pro poznání struktury hmoty, světa částic a interakcí mezi nimi a hlavně pro pochopení velmi raného období vývoje našeho vesmíru.

Urychlovač LHC

Urychlovač LHC dokáže produkovat ve srážce zatím nejvyšší energii dostupnou pro tvorbu částic. Vzhledem k Einsteinově ekvivalenci mezi hmotností a energií tak má potenciál objevit úplně nové velmi těžké částice. Při srážkách urychlených těžkých jader pak umožňuje dosáhnout teplotu jaderné hmoty doposud uměle nedosažitelnou. Je to umožněno tím, že nový urychlovač dodá protonům nebo i těžkým jádrům více než o řád vyšší energie, než bylo dosud možné. Navíc se v něm sráží proti sobě letící svazky částic nebo jader. Kolize vstřícných svazků, kdy je těžiště srážejících se objektů v laboratoři v klidu, dovolují v principu přeměnit veškerou kinetickou energii pohybujících se objektů a využít ji na produkci nových částic nebo na ohřátí a stlačení jaderné hmoty. Pokud srážíme urychlené částice svazku s částicemi v terči, který je v laboratoři v klidu, pohybuje se těžiště soustavy vzhledem k laboratoři. Kinetická energie spojená s pohybem těžiště se musí při srážce zachovat. Nelze ji tak přeměnit na jiné formy energie a na produkci nových částic. Dokumentujme si to právě na příkladu urychlovače LHC. Ten urychluje protony na kinetickou energii 7000 GeV¹. Při srážce vstřícných svazků tak máme k dispozici 14000 GeV. Tato energie by v principu stačila na vytvoření více než 14000 protonů.¹ Pokud bychom však svazek zamířili do pevného terče, lze využít na tvorbu částic pouze energii 118 GeV, zbývající energie zůstane spojena s pohybem těžiště. Kromě protonů umožní urychlovač LHC urychlit i velmi těžká jádra. V případě těch nejtěžších (například olova s 208 nukleony v jádře) ponese každý nukleon kinetickou energii 2700 GeV a tedy celková kinetická energie vnesená dvěma srážejícími se jádry olova bude 1 123 200 GeV. Ta by se například uvolnila při dopadu závaží o hmotnosti 0,02 gramu z metrové výšky na zem ve vakuu. To už je docela makroskopická energie blízká našim běžným zkušenostem. Alespoň těm z hmyzí říše. A tak se občas tato energie přirovnává k energii letící mouchy. Můžete namítnout, že to není nic moc. Je však třeba si uvědomit, že se srážejí objekty, které mají téměř o dvanáct řádů menší rozměr, než by mělo zmíněné závaží či moucha. Kdyby se s rychlostí, jakou mají urychlená jádra olova, srazila závaží o hmotnosti

jednoho gramu, dostupná kinetická energie by byla zhruba $5 \cdot 10^{17}$ J. To už je energie uvolněná zhruba deseti tisíci hirošimských bomb.

Kosmické záření – příroda je pořád lepší

V dalším textu budu převážně pět ódy na nově budovaný urychlovač. Avšak pro začátek si neodpustím poznámku, že na přírodu a náš vesmír stále zdaleka nemáme. Ze všech stran kosmického prostoru přilétají do zemské atmosféry částice a jádra velmi vysokých energií. Zatím nejenergetičtější pozorované měly energii sto milionkrát vyšší než je hodnota plánovaná pro protony na LHC. Mohla by vás napadnout otázka, proč se vlastně velké urychlovače staví a proč nevyužijeme kosmické záření. Problémem je, že plošná hustota částic kosmického záření s velmi vysokou energií je velmi malá. Pokud bychom si vzali částice s energií vyšší než je ta, která je dosažitelná na LHC, dostaneme číslo zhruba 0,001 částic na m^2 a sekundu. Maximální počet srážek dosahovaných na LHC by měl být zhruba 10^9 za sekundu a tedy o dvanáct řádů více. Ovšem, když vezmeme plochu Země, ostatních planet a Slunce, dostáváme zhruba 10^{16} srážek za sekundu. Toto číslo je deset milion krát větší než počet srážek na LHC a navíc kosmický stroj pracuje nepřetržitě miliony let. Ukazuje se, že naše technika je pořád daleko za přírodou. Zároveň je tak zaručeno, že fyzika při srážkách s těmito energiemi nám nepřináší žádná rizika. Ve sluneční soustavě totiž žádné katastrofické jevy způsobené srážkami vysokoenergetických částic kosmického záření nepozorujeme. I posuzování možných rizik vstupu do hájemství nové fyziky velmi vysokých energií bylo součástí projektování a schvalování nového urychlovače. Realita srážek kosmického záření o ještě daleko vyšších energiích je pak nejpádnější odpovědí na možné obavy.

Urychlovač LHC – nástroj pro testování teorií popisujících strukturu hmoty

Věda je nástrojem, který umožňuje hledat a nacházet popis přírody. Vytváří hypotézy, modely a teorie, které musí být konfrontovány s experimentálním pozorováním. Je tedy jasné, že za vědecký popis (ať už jde o hypotézu, model nebo teorii) lze označit jen takový, který umožňuje dávat alespoň principiálně ověřitelné předpovědi, které mohou být konfrontovány s pozorováním. Ovšem ověřování teorií, které popisují velmi extrémní stavy hmoty, může být velmi náročné. Pro teoretické fyziky může být velmi složité najít takové předpovědi, které by šly za možnosti současné teorie struktury hmoty. Tou je v současnosti **standardní model hmoty a interakcí** a musí ji pochopitelně každá nová obecnější teorie v sobě zahrnovat jako limitu pro „běžné“ hodnoty fyzikálních veličin. Zároveň však musí předpovědi být pro takové fyzikální podmínky, které jsou experimentálně dosažitelné, byť s využitím veškerých současných lidských možností a umu. Právě s takovými těžkostmi se potýkají i teorie, o kterých budeme dále hovořit. Jsou navíc matematicky velmi náročné a spočítat lze zatím většinou konkrétní předpovědi pouze pro extrémně vysoké energie nebo pro ty v současnosti

dosažitelné. V prvním případě jde o oblast experimentálně zatím nedostupnou a v druhém případě jsou pochopitelně předpovědi většinou shodné s předpověďmi naší současné teorie – standardního modelu.

Hlavním posláním urychlovače LHC a experimentů na něm postavených je získání experimentálních dat o hmotě vznikající při srážkách částic nebo jader s energií mnohonásobně převyšující doposud dosažitelné hodnoty. Urychlovač LHC umožní produkovat částice, získávat teploty a hustoty, které vznikají jen v takové značně neobvyklé situaci. Tak se stane tím potřebným prostředkem pro ověření hypotéz popisujících fyziku hmoty za extrémních podmínek. Měl by přispět k výběru těch, které přírodu reálně popisují, a umožnit jejich přeměnu na teorii. Nalezená a potvrzená teorie by nám pak umožnila popsat chování a vývoj vesmíru v těch nejranějších stádiích. Velká část fyziků doufá, že by právě takto získaná teorie byla tou finální, která by dokázala úplně popsat strukturu a chování hmoty.

Experimenty - čtyři hlavní a jeden malý (ale důležitý)

Jak už jsme se zmínili, využívá urychlovač vstříčné svazky. Urychlování začíná v malém lineárním urychlovači a pak probíhá postupně v několika na sebe navazujících kruhových urychlovačích. Poslední stupeň je náš urychlovač LHC. Ten se skládá ze dvou nezávislých trubic. Před vstupem do urychlovače LHC se svazek protonů nebo jader rozdělí na dvě části. Každá je pak urychlována na konečnou energii v jiné trubici v opačném směru. Trubice LHC se v několika místech kříží a ve čtyřech místech křížení jsou umělé jeskyně, ve kterých jsou umístěny jednotlivé experimenty. Tři velké experimenty ATLAS, CMS a LHCb jsou primárně určeny pro studium srážek protonů. Stejný cíl má i malý experiment TOTEM, který je ve stejné jeskyni jako experiment CMS a bude studovat částice rozptýlené do velmi malých úhlů. Čtvrtý velký experiment ALICE je pak určen pro studium vlastností velmi horké a husté hmoty. Konkrétní popis experimentálních zařízení a použitých typů detektorů si necháme na někdy příště a nyní se budeme věnovat fyzice, kterou budou studovat.

Standardní model

Nejdříve si jen krátce zopakujeme naše současné představy o struktuře hmoty. Jsou obsaženy v tzv. standardním modelu hmoty a interakcí. Umožňuje nám popsat fyzikální vlastnosti hmoty v podmínkách, které jsme schopni připravit na současných urychlovačích (minimální rozměr 10^{-18} m a energie ~ 200 GeV). Podle něho je svět kolem nás složen z **částic hmoty**, mezi kterými působí čtyři typy interakcí (gravitační, slabá, elektromagnetická a silná). Ovšem i interakce jsou zprostředkovány částicemi. Ty jsou označovány jako **částice interakcí**.

Částice hmoty jsou dvojího typu. **Leptony** neinteragují silnou interakcí, naopak **kvarky** interagují i silnou interakcí. Máme tři dvojice (rodiny) kvarků a tři dvojice (rodiny) leptonů. U dvojice leptonů jde vždy o nabitý lepton (elektron, mion nebo tauon) a neutrální (elektronové, mionové nebo tauonové) neutrino. Součástí standardního modelu jsou i příslušné antičástice. Částice hmoty mají hodnotu spinu (vnitřního momentu hybnosti) poločíslný násobek Planckovy konstanty. Patří tedy mezi **fermiony**.

Nyní se podíváme na interakce, které mezi částicemi působí, vytvářejí z nich vázané systémy a celou rozmanitost našeho světa. Hodnota spinu částic interakcí je rovna celočíselnému násobku Planckovy konstanty a jsou tedy **bosony**. Nejsilnější interakcí je **silná interakce**, která je zprostředkována osmicí gluonů. Jejím nábojem je tzv. barva, která je trojího druhu. Tento typ náboje nesou z částic hmoty pouze kvarky. Vázaný systém musí být z pohledu barevného náboje neutrální (bezbarvý). V našich podmínkách se vyskytují dva typy vázaných systémů z kvarků. Jedním z nich jsou baryony složené ze tří kvarků, z nichž každý nese jinou barvu. Mezi **baryony** patří například protony a neutrony. Ty pak silná jaderná interakce váže do atomových jader. Druhým typem jsou **mezony** složené z kvarku a antikvarku (kombinace barvy a antibarvy je bezbarvá). Silně interagující baryony a mezony se společně označují jako **hadrony**. Dosah silné interakce je velmi malý, řádově odpovídá rozměru protonu. Má velmi specifické vlastnosti (například její intenzita roste se vzdáleností), které způsobují i to, že kvarky jsou v současných podmínkách našeho vesmíru uvězněny v hadronech. Silná interakce je popsána kvantovou chromodynamikou.

Dalším typem interakce, která působí mezi částicemi je **elektromagnetická interakce**. Ta je spojena s elektrickým nábojem. Ten je dvojího druhu – kladný a záporný. Elektromagnetická síla je mnohem slabší než silná. Na rozdíl od silné interakce, která má velmi krátký dosah, má dosah nekonečný. Její intenzita klesá

známým způsobem s kvadrátem vzdálenosti. Je popsána kvantovou elektrodynamikou.

Třetím typem interakce je **slabá interakce**. Ta má velmi malou intenzitu a dosah, což obojí je dáno velkou hmotností tří částic, které ji zprostředkují (bosony W^+ , W^- a Z^0). Je popsána elektroslabou teorií, která je kvantovou teorií pole obsahující i kvantovou elektrodynamiku.

Posledním čtvrtým známým typem interakce je **gravitační interakce**. Ta je nejslabší. Je tak slabá, že její projevy v mikrosvětě lze pro v současnosti dostupné energie zanedbat. To, že její projevy v makrosvětě převládají, je dáno nekonečným dosahem této interakce a tím, že má jen jeden druh náboje (hmotnost). V případě elektromagnetické interakce, která má také nekonečný dosah, má příroda tendenci vytvářet kombinací nábojů neutrální objekty. V případě gravitace se vliv hmotností pouze sčítá a pro velké objekty dosahuje velkých hodnot. Gravitu popisujeme pomocí Einsteinovy obecné teorie relativity. Ta je klasickou teorií. Kvantovou teorii gravitace zatím nemáme a tak gravitace není součástí standardního modelu.

Právě nalezení kvantového popisu gravitace a společného popisu všech známých interakcí je důležitým úkolem fyziků a pomoc při hledání této „finální“ teorie je i důležitým úkolem urychlovače LHC. Napřed se však ještě podrobněji podívejme na zkoumání standardního modelu.

Dva typy výzkumů na urychlovači LHC.

Na LHC se budou provádět dva typy výzkumů. Prvním typem je studium srážek protonů. Zde jde o dovršení našeho poznání standardního modelu hmoty a interakcí a hledání projevů vyšší teorie (nové fyziky), která by standardní model obsahovala, ale dokázala by popsat chování hmoty při ještě vyšších energiích a při ještě menších rozměrech. U mikroobjektů, kterými elementární částice i jádra jsou, se dominantně projevují vlastnosti kvantové fyziky. Jednou z nich je i vlnový charakter objektů. Čím je energie částice větší, tím je menší její charakteristická vlnová délka. A nejmenší rozměr, který můžeme vidět u objektu zkoumanému pomocí záření, je dán vlnovou délkou tohoto záření. I v optice nám světlo

s kratší vlnovou délkou umožňuje vidět zkoumaný objekt mnohem detailněji. Doposud největší urychlovač Tevatron (sráží protony s antiprotony) urychluje protony na energii 980 GeV, což znamená jejich vlnovou délku $2 \cdot 10^{-19}$ m. To je více než tisíckrát menší rozměr než rozměr protonu. Pro LHC jsou tato čísla ještě sedmkrát lepší. Druhá důležitost dosažení co nejvyšší hodnoty energie urychlovaných protonů už byla zmíněna. Díky Einsteinově vztahu mezi energií a hmotností určuje dosažená kinetická energie největší možnou klidovou energii a tím i hmotnost nově vytvořených částic. Často je však dosažitelná hmotnost snížena tím, že částice ve většině případů vznikají v páru částice a antičástice. Navíc se (souvisí to se zmiňovanou charakteristickou vlnovou délkou) protony nesrážejí jako celek, ale sráží se jednotlivé komponenty, které je tvoří. Na tvorbu nové částice se může přeměnit pouze kinetická energie, kterou nesou příslušné srážející se části protonu. S velkým zjednodušením můžeme říci, že se proton skládá ze tří částí. První jsou tři kvarky, označované jako valenční. Existence dalších komponent je dána kvantovou fyzikou. Jsou spojeny s vlastnostmi interakce, která drží valenční kvarky pohromadě, a vlastnostmi vakua. Jednou z těchto částí jsou virtuální gluony zprostředkující silnou interakci a druhou pak virtuální páry kvarku a antikvarku. O vlastnostech vakua a představě virtuálních částic jsem už v tomto časopise psal [5]. Každá z těchto tří komponent nese zhruba třetinu hybnosti a tedy i energie, kterou urychlený proton má. Jestliže se tedy sráží dva valenční kvarky, bude dostupná energie zhruba devětkrát menší než je kinetická energie, kterou mají dva srážející se protony. Při úvahách, jaké maximální hmotnosti mohou mít produkované částice, je třeba vzít tuto skutečnost v úvahu.

Druhým typem výzkumů budou srážky těžkých jader. Při nich je hlavním cílem zkoumání jaderné hmoty při velmi vysoké teplotě a velmi vysoké hustotě energie. Jde o přesně takovou hmotu, která zde byla velmi krátce po vzniku našeho vesmíru. Jak bylo popsáno v dřívějším článku [6], podařilo se v nedávné době pomocí urychlovačů SPS a RHIC prokázat existenci nové formy jaderné hmoty – kvark-gluonového plazmatu. Jedná se o směs uvolněných kvarků a gluonů, která vzniká za velmi vysokých hustot a teplot. Ukázalo se však, že kvark-gluonové plazma má při zatím experimentálně dosažitelných teplotách velmi odlišné vlastnosti od těch, které jsou předpovídány teoretiky. Proto je nesmírně důležité získat daleko větší objemy této látky při co nejvyšších teplotách. Pro kosmologii to má velký význam, neboť ve velmi ranném stádiu vývoje byl náš vesmír tvořen právě takovou hmotou a její vlastnosti nechaly svůj otisk i na jeho pozdějším vývoji.

Co může ke standardnímu modelu říci LHC?

Standardní model je na jedné straně velice dobře poznán. Na druhé straně nám stále ještě některé jeho komponenty chybí. Jednou z nejviditelnějších jsou jedna nebo více chybějících částic, které se označují jako **Higgsovy bosony** a podrobněji jsem o nich už v časopise Kozmos psal [4]. Jsou zodpovědné za velmi vysoké hmotnosti částic W^+ , W^- a Z^0 , které jsou osmdesátkrát až devadesátkrát těžší než proton a zprostředkují slabou interakci. Jsou ve své podstatě „sourozenci“ našeho dobře známého fotonu, který zprostředkuje elektromagnetickou interakci. Slabá interakce a elektromagnetická interakce se dají popsat společnou teorií. Higgsovy bosony jsou její součástí a způsobují, že bosony slabé interakce jsou tak „obézní“ na rozdíl od fotonu, který má klidovou hmotnost nulovou. V nejjednodušším případě může být jeden neutrální Higgsův boson. Ve složitějším případě pak čtyři (dva neutrální označované jako H_1 , H_2 a dva nabitě H^+ a H^-) i více. V takovém případě už je však většinou třeba zavádět novou fyziku přesahující standardní model. Higgsovy bosony a mechanismus, který je generuje, mají i další významné vlastnosti, které z nich dělají velmi důležitou součást standardního modelu. Pomocí nich se třeba můžeme zbavit některých nekonečných hodnot, které vznikají při výpočtech (například tzv. radiálních korekcí) v rámci elektroslabé interakce. Proto je velmi důležité, aby byla správnost použití Higgsova mechanismu ve standardním modelu potvrzena. A právě pozorování Higgsova bosonu by bylo tím potřebným přímým důkazem. Navíc určení počtu různých Higgsů a studium jejich vlastností by upřesnilo, jaká konkrétní forma Higgsova mechanismu se v našem světě uplatňuje. Pokud platí ta nejjednodušší varianta, musí být hmotnost Higgsova bosonu v poměrně úzkém rozmezí¹⁾, aby teorie elektroslabé interakce byla správně vyladěna až po velmi vysoké energie ohraničené Planckovou energií 10^{19} GeV, u které se interakce sjednocují¹⁾. V tomto případě bude Higgsův boson určitě pomocí urychlovače LHC objeven. Pokud ne, je to jasná známka existence nové fyziky za standardním modelem.

Nejtěžší kvark t byl objeven teprve nedávno na urychlovači Tevatron v laboratoři Fermilab (USA). Velmi zajímavé u něho je, že je velice těžký²⁾ a díky tomu se při jeho vzniku ve formě dvojice kvarku t a antikvarku \bar{t} nestihnou vytvářet elementární částice, které kvark nebo antikvark t obsahují. Kvark t se totiž velice rychle přeměňuje (rozpadá) na některý z lehčích kvarků a intermediální boson elektroslabé interakce i s uvolněním velkého množství energie. V konečném důsledku dostáváme výtrysky částic obsahujících lehčí kvarky a několik leptonů. Studium jeho vlastností, například určení jeho přesné hmotnosti, by mělo přinést zvětšení našich znalostí standardního modelu a pohled i za něj. Díky své energii bude urychlovač LHC úplnou továrnou na produkci t kvarků.

Může vzniknout otázka, zda existují ještě těžší kvarky, které by bylo možné na LHC objevit. Standardní model a naše současné znalosti ukazují, že už jsme objevili všechny druhy „klasických“ kvarků. Vychází se ze symetrií, které panují mezi kvarky a leptony. Víme, že ve standardním modelu existuje stejný počet rodin leptonů a kvarků – tedy tři. Existují tak tři druhy neutrin. Pokud by existovala ještě další rodina kvarků a leptonů, musel by existovat ještě čtvrtý typ neutrina. Již několikrát jsme se

zmínili o neutrální částici, která zprostředkovává slabou interakci – Z^0 bosonu. Tato částice se může rozpadat také dvojicí lepton a antilepton a tedy i na dvojici neutrino a antineutrino. Každá nová možnost rozpadu zkracuje dobu života Z^0 bosonu. Tu dokážeme v současnosti velice přesně změřit. Zároveň dokážeme díky teorii elektroslabé interakce spočítat pravděpodobnost rozpadu na neutrino a antineutrino. Víme tak, že se nám žádný další rozpad na nový typ neutrino a antineutrino do doby rozpadu Z^0 bosonu nevléze a existují tak jen tři typy neutrin. Situace by byla rozdílná, kdyby existovala nějaká velmi těžká neutrino, která by díky své vysoké hmotnosti dobu života Z^0 bosonu neovlivnila. Existence takových neutrin se příliš nepředpokládá, ale protože ji nelze ani vyloučit, budou experimenty na urychlovači LHC hledat i tyto exotické částice a s nimi spojené nové exotické kvarky.

Značné doplnění znalostí a ověření našich představ potřebuje i kvantová chromodynamika, což je teorie, která v rámci standardního modelu popisuje silnou interakci mezi kvarky. Je zprostředkována osmicí gluonů. Foton, který přenáší elektromagnetickou interakci, sám nenes náboj této interakce. Naopak gluony nesou barvu – náboj silné interakce, a proto mohou interagovat samy mezi sebou. Mohly by tak hypoteticky vytvářet vázané systémy složené pouze z gluonů. Ty by, stejně jako vázané systémy složené z kvarků, musely být bezbarvé, tedy z pohledu barevného náboje neutrální. Takový vázaný systém z gluonů se označuje jako gluonium nebo „glueball“. Pokud takové systémy opravdu existují, mohly by mít i značný vliv na vývoj vesmíru v období kolem epochy, kdy se kvarky vázaly do hadronů – docházelo k hadronizaci.

Stejně tak by mohly být významné další složené objekty vázané silnou interakcí. Jak už bylo zmíněno, známe dnes pouze dva typy vázaných systémů kvarků. Baryony, které jsou vázaným systémem tří kvarků (antibaryony jsou ze tří antikvarků), a mezony, které jsou složeny z jednoho kvarku a jednoho antikvarku. Zatím hypoteticky by však mohly existovat i vázané systémy s jiným počtem kvarků – tetrakvarky, pentakvarky a další. Podrobnější rozbor dosavadního průběhu hledání těchto exotických částic jsem napsal pro Kozmos před rokem [7]. Je jasné, že hledání glueballů a exotických multikvarkových systémů bude důležitým úkolem experimentů na LHC.

Dalšími zatím hypotetickými objekty, které souvisí s vlastnostmi silné interakce, jsou **podivnůstky** (anglicky strangellts). Měly by to být kousky kvark-gluonového plazmatu, které by obsahovaly kromě dvou nejlehčích i příměs třetího o něco těžšího kvarku. Takové kvark-gluonové plazma by mohlo být stabilní i za normálních podmínek. Na studium kvark-gluonového plazmatu je zaměřen experiment ALICE, ale hledání podivnůstek se budou věnovat i některé z dalších experimentů. Bližší popis vlastností těchto objektů a jejich významu pro astrofyziku lze najít v článku [1].

Stěžejním úkolem, který je třeba v poznání standardního modelu udělat, je studium narušení některých symetrií nebo zákonů zachování, ke kterým v něm může docházet. Jedná se zvláště o rozdíl mezi průběhem reakcí a dalších fyzikálních zákonitostí v situaci, kdy zaměníme znaménka u prostorových souřadnic (náš svět převedeme na zrcadlový) a zároveň zaměníme všechny částice v reakci za antičástice a naopak (přejdeme do antisvěta). Takto vzniklý rozdíl se označuje jako **narušení CP symetrie**. Poprvé byl tento jev pozorován v rozpadu K^0 mezonů a v nedávné době u jejich ještě těžších kolegů B^0 mezonů. Z hlediska kosmologie je tato oblast velmi důležitá, protože narušení CP symetrie je nezbytnou podmínkou pro vznik přebytku hmoty nad antihmotou na počátku vývoje našeho vesmíru. Zdá se, že ve standardním modelu není narušení dostatečné a neobejdeme se bez nějaké komplexnější teorie. V každém případě je třeba určit jeho velikost a nejintenzivnější projevy se objevují právě v rozpadech těžkých mezonů, které se budou na LHC intenzivně produkovat. Proto je potřeba získat velmi přesná měření produkce a rozpadu řady těžkých hadronů. Blíže jsem podmínky vzniku přebytku hmoty nad antihmotou v časopise Kozmos již popisoval [2].

Cesta za standardní model

Dnes je však jasné, že standardní model nestačí na popis hmoty v extrémnějších situacích. Už jsem se zmínil o nutnosti vysvětlení přebytku hmoty nad antihmotou. Neznáme původ temné hmoty a temné energie. A je řada dalších faktů, se kterými se standardní model nedokáže

vypořádat. Standardní model nesjednocuje popis silné a elektroslabé interakce a nezahrnuje gravitaci. Obsahuje 19 volných parametrů plus další spojené s vlastnostmi neutrin (hmotnosti a parametry míchání), které musíme zjistit z experimentu. Obsahuje řadu symetrií a hierarchií, které nemohou být náhodné a je třeba je vysvětlit. Ovšem tyto symetrie se na druhé straně stávají vodítkem při hledání teorie, která by byla obecnější a dokázala by sjednotit teorie popisující elektroslabou a silnou interakci (teorie velkého sjednocení) nebo dokonce dosáhnout jednotného popisu všech čtyř známých interakcí.

Teorie velkého sjednocení vycházejí ze symetrií pozorovaných mezi rodinami kvarků a leptonů. Umožňují přeměnu kvarku na lepton a opačně prostřednictvím nově zavedených částic (označují se jako **leptokvarky** nebo jako částice X a Y). Ovšem jejich předpovídaná hmotnost je v řádu 10^{15} GeV a tedy daleko z dosahu urychlovače LHC.

Z hlediska výzkumů plánovaných na LHC jsou mnohem zajímavější **supersymetrické teorie**, které zavádějí symetrii (neměnnost fyzikálních zákonů) pro záměnu bosonů na fermiony a opačně. Předpovídají, že každá známá částice standardního modelu má svého supersymetrického partnera, který se liší spinem. Fermion má supersymetrického partnera boson (jeho název se utvoří pomocí s-, například s-kvark, s-elektron ...) a boson pak fermion (název se vytvoří příponou ino: fotino, gluino, ...). V našem současném světě je tato symetrie narušená a díky tomu mají supersymetriční partneři známých částic velmi vysoké hmotnosti. Ty by měly být pro nejjednodušší varianty supersymetrických teorií v oblasti 100 GeV – 1000 GeV, tedy v dosahu urychlovače LHC. Situace je komplikovaná tím, že kvantová fyzika kromě „čistých“ stavů částic umožňuje i jejich „směs“. Takže například nejlehčím pozorovaným neutrálním supersymetrickým fermionem nemusí být ani fotino, ani gluino či jiný čistý stav, ale směs, která se pak označuje jako neutralino. S tímto objektem se pak můžete setkat jako s nejžhavějším kandidátem na částici tvořící temnou hmotu. Nemůže se totiž rozpadat na jiné supersymetrické částice, které jsou všechny těžší, a jeho rozpad na částice „normální“ je velmi silně zbržděn. Hledání supersymetrických částic je jedním z nejdůležitějších úkolů, které LHC má.

Pokud nebude nalezen Higgsův boson, bude třeba najít jinou příčinu narušení elektroslabé symetrie (vysokých hmotností W^+ , W^- a Z^0 bosonů). Jednou z možností, která by nahradila i supersymetrické teorie, jsou **teorie technicoloru**. Pro naše

povídání je podstatné, že i v tomto případě je předpovídána řada nových částic, které jsou v energetickém dosahu urychlovače LHC.

Daleko menší šance má LHC přispět k hledání **axionů**. Axiony zavádějí některé teorie, které se snaží popsat zmiňované narušení CP symetrie. Axiony jsou také uváděny jako možní kandidáti na původce temné hmoty. Většinou se předpokládá, že jejich hmotnost bude velmi malá a urychlovač LHC tak nepředstavuje výhodu při jejich hledání. Zato hmotnost magnetických monopolů, které předpovídají některé teorie velkého sjednocení by mohla být v nově zpřístupněné oblasti energií.

Není pochopitelně vyloučeno, že stejně jako jsou hadrony složené z kvarků, mohou být kvarky také složeny ještě z elementárnějších částic. To by vedlo k existenci excitovaných stavů kvarků, které by se mohly pomocí urychlovače LHC produkovat.

V současnosti jsou nejžhavějším kandidátem na „finální“ teorii tzv. **strunové teorie**. Tyto teorie zahrnují standardní model i supersymetrii. Jejich hlavním znakem je, že popis částic jako bodového objektu nahrazují strunou s extrémně malým rozměrem (v řádu 10^{-35} m). Různé vibrační módy takových strun by byly pozorovatelné jako známé částice. Základní výhodou této představy je, že se zbavujeme nefyzikálních nekonečných hodnot (například hustoty), které dostaneme v případě bodových objektů. Strunové teorie vedou k nutnosti zavedení dalších až sedmi rozměrů kromě známých tří prostorových a jednoho časového. Ty by měly být ve většině případů svinuty do velmi malých rozměrů (srovnatelných s rozměrem struny) a tedy by se v našich normálních podmínkách neprojevovaly. Je vidět, že rozměr strun je velmi hluboko pod rozlišovací schopnost urychlovače LHC. Ovšem některé varianty strunových teorií předpokládají, že některé extra rozměry by mohly být částečně nebo úplně rozvinuté. V tom případě by se mohli projevit i při experimentech na LHC a jejich příznaky zde budou intenzivně hledány. Pro kosmologii je toto hledání velice atraktivní, neboť strunové teorie zavádějící nové rozměry jsou základem bránových, ekpyrotických kosmologických hypotéz [3]. Podobného charakteru je i hledání různých projevů kvantové gravitace. Takové výzkumy se také prováděly na menších urychlovačích a budou pokračovat i na urychlovači LHC.

V oblasti kvantové gravitace má pro kosmologii význam i hledání **mikroskopických černých děr**. Jedná se o hypotetické černé díry s hmotností v řádu Planckovy hmotnosti $10^{19} \text{ GeV}/c^2$ (10^{-8} kg) a méně. Jejich Schwarzschildův poloměr by byl natolik malý, že by nebylo možné brát kvantové vlastnosti gravitace jak opravy ke klasické teorii, ale byly by pro vlastnosti takového objektu určující. Chování mikroskopické černé díry by bylo dáno pouze hodnotou hmotnosti, náboje, a spinu, podobně jako je tomu u částic. Význam pro kosmologii tkví hlavně v tom, že pokud vznikaly v ranných stádiích našeho vesmíru primordiální mini černé díry, pak by mohly díky svému vypařování Hawkingovým zářením končit jako mikroskopické černé díry.

Jak zjistit vznik nové částice?

Jak je vidět, jedná se ve velké řadě případů o hledání nových částic. Shrňme si experimentální možnosti, které pro jejich zachycení máme. Jsou dány tím, že většina detektorů pracuje na základě přeměny energie, které ztrácí nabitá částice při průchodu v materiálu tím, že ionizuje nebo excituje atomy tohoto materiálu.

Pokud má částice elektrický náboj a existuje dostatečně dlouhou dobu, je její detekce poměrně jednoduchá. Částice interaguje a ztrácí energii pomocí elektromagnetické interakce. V takovém případě můžeme určit náboj, energii i hybnost částice a určit i její klidovou hmotnost. Menším problémem je, když existuje velmi krátce a rozpadá se na nabitě částice. V takovém případě zachytíme všechny částice vzniklé v rozpadu. Sečteme jejich náboje, energie a hybnosti, určíme tak náboj, energii a hybnost původní částice a tedy stejně jako v minulém případě její klidovou hmotnost. Stejným způsobem můžeme určit vlastnosti neutrální částice, která se rozpadá na nabitě částice. Větší problém je s detekcí neutrálních částic, které nejdříve musíme převést na nabitě částice. To není problém v případě, že je částice hadronem a interaguje silnou interakcí. Neutrální hadrony tak můžeme zachytit a určit jejich energii a hybnost.

A chvála chybějící energie a hybnosti

Řada částic, které chceme hledat, se však rozpadá na částice, které s normální hmotou interagují velmi slabě. Pokud jsou navíc neutrální nelze je normálně detekovat. V takovém případě lze využít chybějící energie, která je s nimi spojená a nemůže být našimi detektory zachycena. Zachytíme ostatní vzniklé částice a určíme jejich energie a hybnosti. Využitím zákona zachování energie a hybnosti určíme hodnoty energie a hybnosti, které neznámá částice odnáší a pomocí nich můžeme stejně jako v předchozích případech spočítat hodnotu klidové hmotnosti této částice.

Nejrannější vesmír

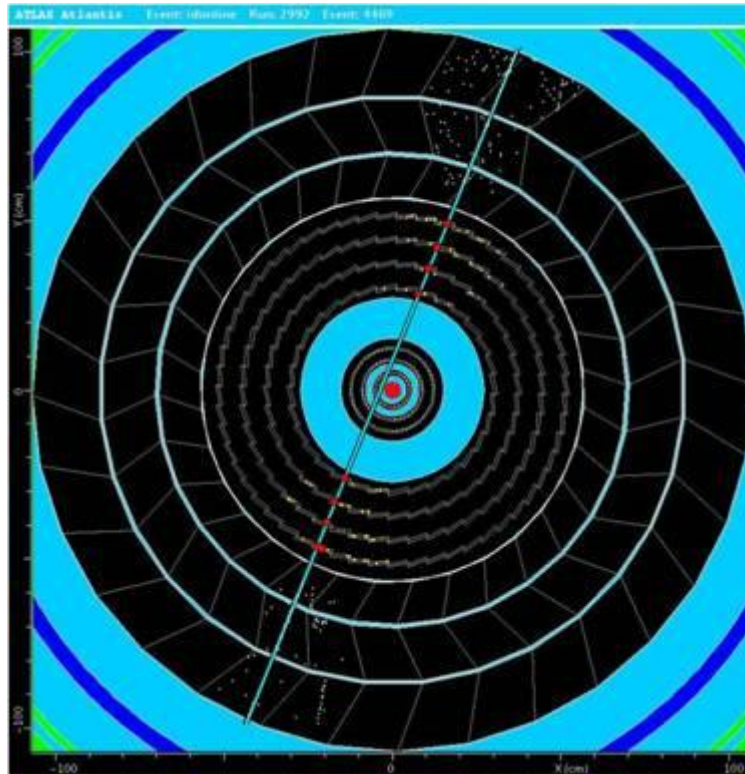
Podívejme se blíže, do jakého období vývoje našeho vesmíru nám umožní urychlovač LHC nahlédnout. Celé naše vyprávění bude zaměřeno na období, které je vzdáleno od počátku rozpínání daleko méně než jednu sekundu. Ještě přesněji do okamžiku vzdálenému od počátku rozpínání 10 mikrosekund a méně. V tomto okamžiku klesla teplota vesmíru na hodnotu 10^{12} stupňů a došlo k uvěznění kvarků a gluonů z kvark-gluonového plazmatu do hadronů. Je zřejmé, že pro pochopení velmi horkého hadronové plynu s teplotou blízkou fázovému přechodu může urychlovač značně přispět. Jedná se o zkoumání horké a husté jaderné hmoty pomocí experimentu ALICE a další experimenty budou zkoumat vlastnosti velmi těžkých hadronů, které se v takto horké jaderné hmotě vyskytují.

Urychlovač LHC nám umožní pohled hluboko pod těch deset mikrosekund a měl by nám nechat nahlédnout, jak se postupně po rozdělení silné a elektroslabé interakce a vzniku kvarků a antikvarků v době zhruba 10^{-33} s po začátku rozpínání měnilo kvark gluonově-plazma. Měnilo se od slabě interagujícího podobné plynu, které vyhlížejí teoretici, na silně interagující blízké ideální kapalině, které pozorujeme v blízkosti fázového přechodu v hadronový plyn. Během této doby také mělo dojít k vydělení elektromagnetické a slabé interakce v čase přibližně 1 ps (teplota zhruba 10^{15} stupňů). Dnes se spíše nepředpokládá, že by s tímto vydělením byla spojena inflační fáze vývoje vesmíru. Ta se klade do dřívějšího období mezi časem 10^{-35} až 10^{-37} sekundy. Je však vidět, že plné pochopení elektroslabé a silné interakce nám může umožnit si alespoň „zespodu na tuto inflaci trochu sáhnout“.

V předchozích částech jsme si ukázali, že v dosahu urychlovače LHC by mohla být řada nových dosud neznámých částic. Pokud opravdu existují, budou se

v námi popsané počáteční fázi vývoje vesmíru intenzivně vyskytovat a jejich počet a vlastnosti silně ovlivní chování hmoty v daném čase. A to i chování vakua při velmi vysokých hustotách energie. Kromě reálných se totiž budou vyskytovat virtuální formy těchto částic. Urychlovač LHC by tak mohl přispět k hlubšímu pochopení vakua, kvantových fluktuací a dalších jevů, které jsou kruciální pro popis vývoje vesmíru před dobou 10^{-33} s.

Dosažená energie sice neumožní nastolit podmínky panující příliš hluboko před zlomky mikrosekund, ale umožní nám pochopit fyziku daleko dřívějšího období. Můžeme směle říci, že urychlovač LHC je stroj na zkoumání vývoje vesmíru v období od 10^{-33} s do okamžiku 10^{-5} s. Není vyloučeno, že nám pomůže nahlédnout i hlouběji. Pokud se na zkoumaný úsek podíváme v lineární škále, může nás napadnout, proč se zabývat nicotnými několika mikrosekundami oproti 14 miliardám let dalšího vývoje našeho vesmíru. Pokud se však na ně podíváme ve škále logaritmické, zjistíme, že je toto období dokonce delší a je vidět že zde probíhal velice zajímavý a bouřlivý vývoj. Je důležitým úkolem jaderných a částicových fyziků a astrofyziků zjistit, které z jeho kapitol byly pro současný stav vesmíru podstatné a které následné procesy smazaly a překryly. K tomu by jim měl pomoci právě i LHC.



Obr. č. 8) První testy instalovaných detektorů v době, kdy ještě nepracuje urychlovač, se provádějí pomocí kosmického záření. Průlet kosmického záření některými detektory experimentu ATLAS. (Snímek CERN)

Závěry

Na závěr bych se pokusil o shrnutí toho, co můžeme od urychlovače LHC očekávat. Především by měla být potvrzena existence jednoho nebo více Higgsových bosonů. Studium jejich vlastností je velice důležité pro poznání chování teorie elektroslabých interakcí při velmi vysokých energiích. Stejný význam by mělo i jejich nenalezení. To by znamenalo, že se musí najít náhrada Higgsova mechanismu. Pochopení elektroslabých interakcí, tedy i oddělení elektromagnetické a slabé síly, by mohlo mít pro kosmologii klíčový význam, neboť je tento proces jedním z možných kandidátů na původce inflační fáze vývoje vesmíru.

V dosahu urychlovače by měly být i lehčí ze supersymetrických částic. To je také kosmologicky velmi významné, protože nejlehčí ze supersymetrických částic by mohla být zodpovědná za temnou hmotu ve vesmíru. Právě v této době, kdy byl nedávno nalezen konečný přímý důkaz existence temné hmoty při pozorování srážky kup galaxií [8], je důležité zjistit jejího původce.

Experiment ALICE by měl podrobně prostudovat nový stav jaderné hmoty za velmi vysoké teploty a hustoty, který byl objeven v předchozích experimentech na urychlovačích SPS a RHIC. Jedná se o systém složený z volných kvarků a gluonů – kvark-gluonové plazma a ve vesmíru se vyskytoval v době před uplynutím 10 μ s. Pozorované vlastnosti této hmoty jsou velmi odlišné od teoretických předpovědí. Ukázalo se, že kvark-gluonové plazma interaguje velmi silně a podobá se více ideální kapalině než jen slabě interagujícímu plynu. Je důležité dokonale poznat vlastnosti kvark-gluonového plazmatu při teplotě blízké teplotě jeho přechodu v jadernou hmotu složenou z hadronů a charakter tohoto přechodu. Tyto znalosti jsou podstatné, protože průběh fázového přechodu mohl ovlivnit průběh fluktuací hustoty baryonové hmoty v tomto období a tvorbu lehkých chemických prvků v prvotním vesmíru.

Důležitým úkolem bude přesné určení hmotností a dalších vlastností těžkých kvarků a částic, které vytvářejí. Stejně tak přesné určení vlastností silné interakce a jejich změn s růstem energie, narušení a znovunastolení různých typů symetrií. Jedná se o velmi důležitou součást pochopení vzniku asymetrie mezi hmotou a antihmotou v prvotním vesmíru.

Dosud zmíněné jevy patří k těm, které jsou očekávány s velmi vysokou pravděpodobností a urychlovač LHC u nich určitě rozhodujícím způsobem doplní nebo dokonce změní naše znalosti. Je tak velká naděje, že, ať už najdeme Higgsovy bosony, supersymetrické částice nebo projevy technicoloru, nám urychlovač LHC umožní plné pochopení vzniku narušení symetrie mezi elektromagnetickou a slabou interakcí. Ač pracuje s energiemi v řádu pouze 10⁴ GeV, mohl by nám umožnit popsat vesmír až po Planckovu energii 10¹⁹ GeV a možná si tak třeba i sáhnout na jeho inflační období, které by mohlo probíhat u energií zhruba o tři řády menších.

O dalších hypotetických částicích a jevech, které se budou hledat, už toto říci nelze. Nalezení projevů dalších rozměrů plynoucích ze strunových teorií, mikroskopických černých děr, podivnůstek, magnetických monopolů je daleko méně pravděpodobné. Zvláště v případě jevů vyplývajících ze strunových teorií jsme s energií ještě pořád strašlivě nízko. Jestli díky urychlovači LHC udělají experimentátoři radost strunovým teoretikům, je tak spíše jen ve hvězdách. Ovšem

nejvíce se fyzikové těší na objevy, které se vůbec nečekají a v tomto článku tedy zmíněny nejsou. Spuštění urychlovače LHC koncem tohoto roku se netrpělivě očekává a v roce 2008 bychom mohli očekávat první řadu objevů. Může nás těšit, že se na nich budou podílet i čeští a slovenští fyzikové zapojení do několika LHC experimentů.

Na závěr ještě jednu poznámku s výhledem do ještě vzdálenější budoucnosti. Postupem času, jak se dokončuje urychlovač LHC a jednotlivé detektorové systémy, předávají je jejich projektanti a stavitelé fyzikům a sami se už zaměřují na přípravu nového, ještě výkonnějšího stroje. Mělo by jít o zařízení srážející elektrony a pozitrony (CLIC – Compact Linear Collider). Využilo by se toho, že elektron ani pozitron nemají na rozdíl od protonu na dostupné rozměrové škále strukturu. Celá jejich energie při srážce by tak mohla jít do produkce jedné částice (nebo jednoho páru částice a antičástice). Navíc neinteragují silnou interakcí. Urychlovač musí být lineární, protože lehké elektrony ztrácejí při změnách směru energii vyzařováním brzdného záření. Při velmi vysokých energiích urychlovaných elektronů se energetická ztráta na kruhovém urychlovači vyrovná s hodnotou energie, kterou jsme schopni pro urychlování dodat. Diskuze a vývojové práce na novém urychlovači i detektorech jsou v plném proudu, takže následovník LHC už se také připravuje.

Poznámky:

1) V jaderné fyzice se používají jako energetické jednotky $eV = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. $1 \text{ GeV} = 1000000000 \text{ eV}$. V energetických jednotkách se díky Einsteinově vztahu mezi energií a hmotností $E=mc^2$ může vyjadřovat i hmotnost. Hmotnost protonu je tak $0,938 \text{ GeV}/c^2$. Často se při psaní o LHC využívá jednotka $\text{TeV} = 1000 \text{ GeV}$. Já zůstávám u GeV právě pro její blízkost ke klidové energii protonu.

2) V reálném případě však mohou většinou částice vznikat v páru s příslušnou antičásticí. Proton tedy vzniká v páru s antiprotonem a mohlo by se vytvořit 7000 protonů spolu s 7000 antiprotony.

- 3) V článku se budu odkazovat na několik předchozích článků vyšlých v časopise Kozmos. Pokud příslušná čísla nemáte, lze je nalézt na adrese <http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/popclan/>
- 4) Nejčastěji se uvádí interval 150 – 180 GeV/c².
- 5) U této energie už nelze zanedbat vliv gravitace a je třeba znát kvantovou teorii této interakce.
- 6) Jeho klidová hmotnost (175 GeV/c²) je více než 186 krát větší než hmotnost protonu a vyrovná se téměř hmotnosti celého jádra zlata.

Odkazy:

- [1] Vladimír Wagner: [Podivné hvězdy](#), Kozmos, roč. XXX,1999, č. 3, str. 11
- [2] Vladimír Wagner: [Proč je ve vesmíru více hmoty než antihmoty?](#), Kozmos, roč. XXXI, 2000, č. 6, str. 14
- [3] Vladimír Wagner: [Je kosmologie mytologií aneb úvaha experimentálního fyzika o kosmologických hypotézách a modelech](#), Kozmos, roč.XXXIV,2003,č.1
- [4] Vladimír Wagner: [Kdo polapí Higgse? aneb hon na poslední chybějící částici standardního modelu](#), Kozmos, roč.XXXV, 2004, č.2
- [5] Vladimír Wagner: [Vakuum ve skutečnosti prázdnota není aneb kouzla kvantové fyziky](#), Kozmos, roč.XXXVI,2005, č.1
- [6] Vladimír Wagner: [Co to je a jaké jsou vlastnosti kvark-gluonového plazmatu? aneb co jsme zjistili díky urychlovači RHIC o nové fázi jaderné hmoty](#), Kozmos, roč.XXXVI, 2005 ,č.4 a 5
- [7] Vladimír Wagner: [Nový typ složených částic – pentakvarky – konečně prokázán?](#), Kozmos, roč.XXXVI,2005,č.6 a roč.XXXVII, 2006, 1
- [8] Vladimír Wagner: [Temná hmota in flagranti](#), Vesmír, 2006, č.12

Vladimír Wagner

ÚJF AVČR Řež

E_mail: WAGNER@UJF.CAS.CZ

WWW: <http://hp.ujf.cas.cz/~wagner/>