

# Struktura a interakce jaderných a subjaderných částic

( do **černým** písmem psaného článku jsem vepsal **červené** otázky a komentáře na které Dittrich odpověděl **modře** )

Projekt Struktura a interakce jaderných a subjaderných částic Programu rozvoje badatelského výzkumu v klíčových oblastech vědy pěstovaných v AV ČR probíhal v letech 1996 - 2000 v Ústavu jaderné fyziky a ve Fyzikálním ústavu. ( **jaké jsou výsledky ?** )

Např.

Teoreticky spočítány některé vlastnosti (jako energetické hladiny) jádra uhlíku  $^{12}\text{C}$ . Význam je jednak v získání znalostí o tomto jádře, jednak ve vývoji metod pro výpočty vlastností jader.

Spočítáno prostorové rozložení náboje a hmoty mesonů.

Spočteno energetické spektrum mionového atomu, kde na orbitě kolem jádra olova obíhá místo jednoho elektronu mion.

Provedena řada výpočtů vlastností a pravděpodobnosti vzniku hyperjader tj. jader, v nichž místo jednoho neutronu je hyperon  $\Lambda$ . Navrženy experimenty pro ověřování jejich vlastností (tj. jaké reakce a jaké jejich charakteristiky je vhodné měřit).

Změřeny energetické hladiny různých isotopů teluru.

Spočtena pravděpodobnost tzv. vnitřní konverse pro supertěžké prvky s atomovým číslem  $104 < Z < 126$  (vnitřní konverse je proces, kdy jádro se deexcituje elektromagnetickou interakcí, ale nevyzáří volný foton místo kterého je vyražen elektron z atomového obalu; zjednodušeně si lze představit, že z jádra vyletí foton a ten vrazí do elektronu, který ho pohltí).

Změřeno spektrum elektronů vznikajících beta rozpadem jádra  $^{57}\text{Co}$ .

V Darmstadtu v Německu za naší účasti měřena produkce párů leptonů ve srážkách jader uhlíku s uhlíkem.

V CERN byly za naší účasti zpřesněny naměřené hodnoty hmotností a pravděpodobností rozpadu intermediálních bosonů Z a W.

Za účasti českých fyziků bylo v DESY v Hamburгу upřesněny znalosti o struktuře protonů. Byly hledány nové částice mimo standardní model, žádné nebyly nalezeny (což je do jisté míry potvrzuje správnost standardního modelu).

O některých dalších výsledcích níže v článku.

**aplikační i ty vědecké ?**

Většina výsledků je „vědeckých“ – zpřesnění poznatků o struktuře elementárních částic, atomových jader a jejich interakcí. K aplikačním výsledkům patří užití jaderných analytických metod (analýza chemického složení pomocí pozorování, jaké reakce ve vzorku vyvolávají svazky protonů, neutronů, částic alfa) – užití v ekologii (např. složení různých emisí) a archeologii.

**Kolik se napsalo stran knih ?**

Více než 400 článků v mezinárodních vědeckých časopisech (kniha žádná).

, kolik peněz se utratilo ?

asi 80 milionů Kč

Kolik vědců se na tom podílelo?)

asi 80

Byl zaměřen na výzkum vlastností a interakcí atomových jader a elementárních částic. Od roku 2001 na něj navazuje projekt Základní fyzikální zákony mikrosvěta a makrosvěta, chování hmoty a záření, kterého se účastní rovněž Astronomický ústav. **Jako ukázkou výsledků dokončeného projektu** i části tematiky projektu nového chceme v tomto článku představit dvě problematiky: astrofyzikálně významné jaderné reakce při nízkých energiích a výzkum interakcí elementárních částic při nejvyšších dosažitelných energiích.

Během několika posledních let jsme svědky prudkého rozvoje jaderné astrofyziky. Není snad jediné jaderné fyzikální konference, kde by astrofyzikální **problematika**

Jde o jaderné reakce probíhající ve hvězdách

nezaujímal významnou část. Je to dáno tím, že výzkum v jaderné fyzice se stále více překrývá s výzkumem řešení základních otázek astrofyziky. Kromě toho se experimentální možnosti současné jaderné fyziky značně rozšířily zprovozněním výkonných urychlovačů poskytujících intenzivní svazky, zejména radioaktivních jader. Studium exotických jader ( **co to jsou exotická jádra ?** )

Obvyklá jádra mají zhruba stejný počet protonů a neutronů (třeba isotop kyslíku s  $Z=8$  protony a  $N=8$  neutrony), exotická jádra značně rozdílný (např. velký přebytek neutronů, třeba isotop kyslíku s  $Z=8$  protony a  $N=14$  neutrony)

pomocí těchto ( **jakých "těchto" ?** )

svazků radioaktivních jader, např.  ${}^6\text{He}$

svazků umožnilo řešit problematiku syntézy atomových jader ( **uved'te konkrétní syntézu , konkrétní** )

např.  ${}^6\text{He} + p \rightarrow {}^6\text{Li} + n$ , a řada jiných

v astrofyzikálním prostředí, neboť právě tato jádra jsou většinou součástí řetězců reakcí jaderné syntézy probíhající ve stelárních systémech.

Jaderné reakce syntézy v hvězdném prostředí probíhají při velmi nízkých energiích, řádově desítek KeV. Proto je jejich výzkum přímým měřením účinných průřezů v laboratorních podmínkách velmi obtížný a často nereálný. Přitom výsledky měření musí být na úrovni přesnosti maximálně do 10 %. Hlavním objektem výzkumu jsou ( **byly, neb už se výzkum p r o v e d l** )

Výzkum pokračuje

reakce radiačního záchytu protonů a částic alfa.( **reakce protonů s čím ?? a jader helia s čím ?** )

např.  $p + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{13}\text{N} + \gamma$ ,  ${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O} + \gamma$  a podobně na řadě dalších terčů místo  ${}^{12}\text{C}$

Pravděpodobnosti těchto reakcí při uvedených energiích jsou velmi malé, ( **pravděpodobnosti malé jsou ale reakce s čím ?** )

Viz např. předchozí poznámka.

a proto jsou přímá měření k dispozici pouze výjimečně. Většinou se měření provádí při vyšších energiích v oblasti stovek KeV a výsledky se extrapolují do nejnižších energií. Tyto extrapolace jsou však často

nejednoznačné a zatíženy velkou chybou. Proto je nanejvýše aktuální vyvíjet ( což se od 1996 do 2000 neprovádělo ) nepřímé metody, které by umožnily studovat tyto procesy v laboratorních podmínkách a zároveň zaručily požadovanou přesnost. ( což se od 1996 do 2000 neprovádělo ? ) Jednou z těchto metod je studium opačné reakce - elektrostatické disociace jader na jednotlivé komponenty. ( a to se provádělo v r.1996 – 2000 ? )

převážně jde o dlouhodobější výzkum přesahující 5-letý projekt dopředu i dozadu, vše se dělalo v 1996-2000, ale většinou i předtím a potom

Tato metoda někdy dává výsledky kompatibilní s přímými měřeními, jejich interpretace však není jednoduchá vzhledem k případnému vkladu vyšších elektromagnetických multipólů do amplitudy reakce.

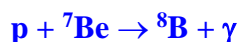
Velmi perspektivní je nepřímá metoda, která byla během několika posledních let vyvinuta v rámci spolupráce Ústavu jaderné fyziky AV ČR a Texas A&M University. Metoda vychází z toho, že při velmi nízkých energiích mají reakce radiačního záchyty periferijní charakter, jinými slovy probíhají převážně mimo dosah jaderných sil, a tedy jejich pravděpodobnost je určována pouze coulombovskými silami zkoumaného jádra v asymptotické oblasti. Jejich pravděpodobnost je dána tzv. asymptotickým normalizačním koeficientem (ANC). Lze ukázat, že tatáž veličina vystupuje v amplitudách přímých periferijních reakcí přenosu částic. Experimentální účinný průřez je úměrný pouze těmto konstantám, které jsou v tomto modelu nezávislé na energii a mohou být použity k výpočtu pravděpodobnosti příslušné reakce radiačního záchyty, který je v oblasti astrofyzikálně významných energií často nejdůležitější komponentou. Výhodou metody je, že příslušná měření mohou být realizována při mnohem vyšších energiích, kdy i účinné průřezy reakcí přenosu jsou řádově vyšší. Jedinou podmínkou pro realizaci těchto měření je, aby daná reakce měla periferijní charakter, což lze splnit vhodným výběrem energie urychleného svazku použitého při studiu reakce přenosu. Teoretický popis metody poskytuje i kritéria, podle kterých lze mechanismus reakce prověřit.

Popsaný model byl testován na svazku iontů  $^3\text{He}$  izochronního cyklotronu U-120M v Ústavu jaderné fyziky ( konkrétnější výsledek by nešel popsat ? co bylo >vytestováno< ? )

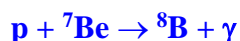
Stejná konstanta ( v textu nazývaná ACN ) vystupuje v různých reakcích. Např. změřením pravděpodobnosti jedné reakce můžeme konstantu ACN určit a pak ji užít k výpočtu pravděpodobnosti jiné podobné reakce. Bylo ověřeno, že toto funguje.

AV ČR a na cyklotronu Texas A&M University. **Byla studována reakce radiačního záchyty protonů jádru kyslíku ( aha, dobrá, zde je ona konkrétnost )** a určeny pravděpodobnosti reakcí pomocí ANC extrahovaných z reakce přenosu protonů. Výsledky byly porovnány s přímým měřením reakce záchyty, které existují pro oblast nízkých energií. Ukázalo se, že metoda je spolehlivá právě v oblasti nejnižších energií typických pro stelární prostředí. Dosažená přesnost je lepší než 9 %. Velkou předností metody je její použitelnost při studiu reakcí radioaktivními svazky, kdy přímá laboratorní měření nepřipadají v úvahu.

Naší první aplikací metody bylo **přímé určení pravděpodobnosti syntézy jádra  $^8\text{B}$  ( smím vědět teoretickou rovnicí této syntézy ? co s čím ? )**



, které je hlavním astrofyzikálním zdrojem vysokoenergetických neutrin, ve snaze přispět k řešení problému známého jako deficit slunečních neutrin. Experimenty probíhaly **jednak na radioaktivních svazcích jádra  $^7\text{Be}$  ( smím vědět teoretickou rovnicí této syntézy ? co s čím ? )**

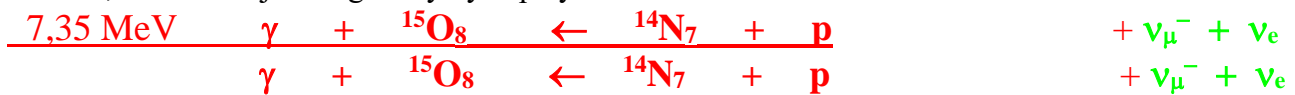


Texaské university a **jednak na svazku  $^3\text{He}$  ( smím vědět teoretickou rovnicí této syntézy ? co s čím ? )**

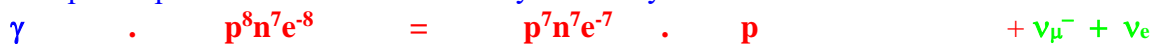


v ÚJF, kde byla realizována komplementární měření ANC potřebná k zajištění optimální přesnosti všech měření. Ve srovnání se stávajícím solárním modelem byla potvrzena nízká hodnota emise těchto neutrin zjišťovaná již dříve v několika světových laboratořích, čímž byla opět otevřena otázka možnosti existence neutrinových oscilací a s nimi spojené nenulové klidové hmotnosti neutrin. Ujasnění tohoto problému bude mít veliký význam z hlediska astrofyziky zvláště pro detailní studium procesu nukleosyntézy v supernovách.

V současné době probíhá měření astrofyzikálně významných konstant určujících pravděpodobnost jaderných reakcí pro syntézu jader jednotlivých větví CNO cyklů. Důležitou reakcí v tomto cyklu je reakce záchytu protonů jádrem  $^{14}\text{N}$ , o níž zatím nejsou známé přesné informace. **Přítom tato reakce je klíčová**, neboť určuje energetický výstup cyklu.



Tato reakce neprobíhá, pokud se zachovávají leptonová čísla (vlevo by musel být mion nebo mionové antineutrino). Pokud dochází k oscilacím mezi mionovým a elektronovým neutrinem, byla by reakce teoreticky možná, ale probíhala by mnohem pomaleji než bez neutrin. Srážka 4 částic vpravo na jednom místě je rovněž nepravděpodobná. Z těchto důvodů by reakce byla zanedbatelná.



**Píšeš-li zde atomové elektrony, musíš napsat vpravo též jeden volný elektron.**



Tato reakce by měla ještě mnohem menší pravděpodobnost než reakce s neutrinou výše (kombinace dvou slabých interakcí mezi leptony).

**pozor :** v CNO cyklu -tak jak ho uvádí fyzika- je "rovnovážná chyba". Chybí v rovnicích neutrina A ta s sebou nesou energetickou bilanci, nejen foton. Přičemž při dalším cyklu další reakce

$^{15}\text{O}_8 \rightarrow ^{15}\text{N}_7 + e^{+} + \nu_e + \gamma$  se mionové antineutrino mění na elektronové, (krom přeměny  $p + \nu_e$  na  $n + e^{+}$ ), aby mohl vzniknout foton při současném zachování inertiální rovnováhy systému. Viz můj popis celého CNO.

Viz předchozí poznámky. Pokud by tyto reakce vůbec probíhaly, budou velmi nepravděpodobné (málo se vyskytující).

Znalost přesné hodnoty má význam i pro spolehlivé určování stáří studovaných hvězd. (jistě, neb v reakcích je zabudována změna "delta t/t")

Nevím, co myslíš delta t. Jde o rychlost vzniku a zániku různých prvků.

Proto byl v Ústavu jaderné fyziky realizován experiment s cílem určit s náležitou přesností příslušné ANC, které dovolují získat pravděpodobnost reakce syntézy  $^{14}\text{N} + p$  č  $^{15}\text{O}$  a rozšířit tak informace významné pro upřesnění stelárních modelů.

**p ř e r u š e n o 12.6.2002, komentář dokončím později**

Navržená metoda ANC bude aplikována i v perspektivním programu studia reakcí přenosu částic alfa. Měření astrofyzikálně významných reakcí radiačního záchytu těchto částic rozšíří možnosti testování aktuálního modelu tzv. nehomogenního "big bangu" (IBBN, Inhomogeneous Big Bang Nucleosynthesis), který popisuje možnost syntézy těžších jader i v počáteční fázi vývoje hvězd díky nehomogenitám v množství nukleonů v důsledku přechodu kvark-gluonové fáze na hadronovou. Společné experimenty budou prováděny na stabilních i radioaktivních svazcích supravodivého cyklotronu K500 Texaské A&M University.

Obraťme se nyní k oblasti vysokých energií a fyziky elementárních částic. V listopadu roku 2000 ukončil činnost urychlovač LEP (Large Electron-Positron collider) v Evropské laboratoři pro fyziku částic CERN

na švýcarsko-francouzské hranici nedaleko Ženevy. Svou činnost zahájil na podzim 1989 a po více než 11 let se zde srážely svazky elektronů a jejich antičástic - pozitronů při nejvyšších energiích dosahovaných v pozemských podmínkách. Na čtyřech rozměrných detektorech fyzikové zaznamenávali a zkoumali částice vznikající při srážkách, což umožňovalo detailně studovat síly a zákonitosti, které svět elementárních částic ovládají, pátrat po nových typech částic, jež předpovídá teorie, a podobně. Tyto detektory nesly jména ALEPH, DELPHI, L3 a OPAL a stejně se označují i týmy fyziků, jež tyto detektory postavily, pracovaly na nich a v současnosti dokončují zpracování naměřených dat.

Čeští fyzikové z Fyzikálního ústavu AV ČR a Matematicko-fyzikální fakulty Univerzity Karlovy se prakticky od počátku podíleli na činnosti experimentu DELPHI. Jednotliví čeští fyzikové spolupracovali už na přípravě a stavbě celého detekčního komplexu v polovině 80. let minulého století (tehdy v rámci spolupráce se Spojeným ústavem jaderných výzkumů v Dubně v tehdejší SSSR); od počátku 90. let se FzÚ a MFF pod společným jménem Pražské laboratoře účastní experimentu DELPHI oficiálně.

Jedním z hlavních cílů experimentů na LEP bylo a je prověřit standardní model (SM) interakcí elementárních částic. SM poskytuje základní teoretický rámec popisující tři ze čtyř základních typů silového působení v přírodě - síly (interakce) elektromagnetickou, slabou a silnou. (Čtvrtou ze základních sil - gravitaci SM nezahrnuje; ta však je při běžných podmínkách mnohem slabší než zbývající tři a při popisu světa částic při běžných energiích se bez ní lze obejít.)

SM identifikuje jako základní stavební kameny hmoty leptony a kvarky. Leptony jsou ty částice, na které nepůsobí silná interakce. Všechny typy leptonů interagují slabě, nabitě leptony i elektromagneticky. Příkladem elektricky nabitého leptonu je elektron, příkladem neutrálního elektronové neutrino. Určující vlastností kvarků je, že interagují kromě slabé a elektromagnetické interakce navíc i silně. Tuto silnou interakci popisuje na úrovni kvarků teorie zvaná kvantová chromodynamika (QCD). Kvarky se nevyskytují v přírodě jako samostatné částice a jsou permanentně uvězněny v hadronech - "běžných" silně interagujících částicích jako proton či neutron. Celý obraz hmotových částic doplňuje skutečnost, že ke každému z leptonů a kvarků existuje odpovídající antičástice - zcela identické "dvojče", až na to, že jejich elektrický náboj a další podobné charakteristiky nesou opačné znaménko.

Druhou z dynamických teorií tvořících rámec SM je tzv. elektroslabá (ES) teorie popisující elektromagnetickou a slabou interakci částic. Po formální stránce jsou QCD a ES teorie úzce příbuzné - v obou případech jde o tzv. kalibrační teorie. Princip jejich budování se opírá o důležitý pojem symetrií. Charakteristickou vlastností kalibračních teorií je, že silové působení mezi hmotovými částicemi je v tomto jazyce popsáno jako interakce s jiným typem částic, někdy nazývaných nosiče síly. Teorie předpovídá vlastnosti těchto částic-nosičů, podrobnosti jejich interakcí s dalšími částicemi apod.

Standardní model je tedy konzistentní teorie, která na základě omezeného počtu parametrů (jejichž hodnoty je třeba změřit) poskytuje celou řadu fyzikálně ověřitelných předpovědí. Úkolem experimentů je jednak co nejpřesněji změřit ony základní parametry, jednak srovnávat předpovědi teorie pro různé veličiny s hodnotami získanými měřeními a v neposlední řadě pátrat po částicích či jiných experimentálních signálech, které by vycházely za rámec standardního modelu.

Vším tím se analýza dat z experimentů na LEP zabývala a zabývá. Jen samotný experimentální tým DELPHI uveřejnil do dnešní doby přes 250 vědeckých publikací, v nichž se studovaly nejrůznějšími aspekty SM i teoretické představy vycházející za jeho rámec. Pokud by se měly výsledky shrnout do jedné věty, experiment dosud neukázal žádnou významnou odchylku od předpovědí SM, naopak je potvrzuje na stále dokonalejší kvantitativní úrovni (tak jak přibývalo množství naměřených dat) a nebyly pozorované žádné fyzikální důkazy existence částic mimo SM (což lze jinými slovy vyjádřit tak, že pokud takové částice existují, jejich hmotnost je nevyhnutelně vyšší než jistá spodní hranice stanovená experimentem).

V úspěšném teoretickém modelu interakcí elementárních částic ovšem dosud narážíme na jeden chybějící článek. Je to částice nazývaná Higgsův boson (HB); **( Může mi někdo ukázat tabulku se zařazením tohoto HB ? a ukázat nějaké interakce s HB ? teoretické na papíře ! )**

V tabulce částic by Higgsův meson zaujímal zvláštní samostatnou rubriku. Rubriky by byly hadrony (baryony, mesony), leptony, intermediální bosony (včetně fotonu), Higgsův meson. Higgsův meson (označme ho  $\phi$ ) interaguje s leptony, kvarky a intermediálními bosony. Příkladem reakce může být jeho rozptyl na elektronu,  $e + \phi \rightarrow e + \phi$ . Pro pozorování jsou však nadějnější reakce s těžkými bosony, např.

$$Z \rightarrow \phi + \gamma, \quad Z \rightarrow \phi + e^+ + e^-, \quad e^+ + e^- \rightarrow Z + \phi.$$

její přítomnost je z hlediska teorie potřebná proto, aby se vnitřně nerozporným způsobem zajistilo, že částice mají takové klidové hmotnosti, jaké se pozorují. Teorie poskytuje jasný návod, jak HB hledat (neboli jak interaguje s ostatními částicemi), ale nikterak nezaručuje, že při dané energii srážek elektronů s pozitrony bude nalezen, neboť neříká nic o jeho hmotnosti - ta je z pohledu teorie volným parametrem. Při takové úvaze jde vlastně o uplatnění principu ekvivalence hmoty a energie v praxi: Energie srážky spolu s klidovými hmotnostmi srážených částic musí být nejméně tak velká jako součet klidových hmotností všech koncových produktů srážky včetně neznámé hmotnosti hledané částice.

Higgsův boson **je významným prvkem** (! kde tam stojí a jak ?)

Stojí tam v interakci s fermiony a intermediálními bosony a v interakci jeho pole se sebou samým (např.  $\phi + \phi \rightarrow \phi + \phi$ ). Jeho přítomnost je spojena s nenulovou hmotností elektronů a těžkých intermediálních bosonů. (detailnější vysvětlení by vyžadovalo kvantovou teorii pole a nějaké vzorce: Higgsovo pole má i ve vakuu nenulovou konstantní hodnotu, interakce leptonů a kvarků s touto částí Higgsova pole vede k jejich hmotnosti).

v konstrukci SM a pátralo se po něm po celou dobu činnosti LEP. Po dobu existence urychlovače byla postupně zvyšována energie srážek a tím i dostupná hranice pro pozorování HB (a ovšem i jiných částic s obecně neznámou hmotností). Až do poloviny roku 2000 byly výsledky pátrání jednoznačně negativní. Se vzrůstající energií srážek se pouze zvyšovala experimentálně stanovená spodní hranice na hmotnost HB (ta vyplývá z neexistence experimentálního signálu při dané energii), ale nikdy se nepozoroval samotný signál. Tato situace se dramaticky změnila v červenci 2000.

Tehdy dosáhl LEP nejvyšších energií. Při nich se na různých detektorech objevily případy, které bylo možno vyhodnotit jako signál. Aby ovšem takový závěr mohl být prohlášen za statisticky průkazný, bylo třeba mít k dispozici dostatečný počet měřených případů. Limitujícím faktorem se ukázal být čas.

Již několik let totiž bylo naplánováno, že urychlovač LEP svou činnost na konci září 2000 ukončí, bude spolu s detektory demontován a postupně nahrazen urychlovačem další generace LHC (Large Hadron Collider) s plánovaným zahájením činnosti v roce 2006. Pokud by všechno šlo podle původních plánů, skončilo by celé pátrání po HB ve velmi nejednoznačném stavu - výsledky společné statistické analýzy všech čtyř experimentů říkaly, že pravděpodobnost, že jde o signál přítomnosti HB, je zhruba 95% (s pravděpodobností 5% tedy mohlo jít o souhru náhod - tzv. efekt pozadí).

Pod vlivem těchto skutečností vedení CERN prodloužilo činnost LEP asi o jeden měsíc. Dodatečná dávka zaznamenaných srážkových případů měla podle předběžných odhadů stačit k tomu, aby byla existence HB o dané hmotnosti buď spolehlivě vyloučena (pokud šlo skutečně o efekt pozadí), nebo aby se statistická pravděpodobnost, že jde o signál, zvýšila na 99,5 %. To by sice stále nestačilo k tomu, aby mohlo být dané pozorování prohlášeno za objev nové částice (k tomu je třeba dosáhnout tzv. hladiny pravděpodobnosti 5 sigma odpovídající 1 - 5,7 x 10<sup>-5</sup> %), ale mnohé by to naznačovalo.

Výsledky analýzy na přelomu října a listopadu ukazovaly, že případů typu signál přibývalo a pravděpodobnost se skutečně přiblížila oněm 99,5 %. Celá věc vzbudila značné vzrušení a vedení CERN stálo před nelehkým rozhodováním. Buď bylo možné prodloužit činnost LEP o rok a pokusit se dosáhnout takového počtu srážek, který by umožnil případný objev statisticky potvrdit - to by ovšem znamenalo změnit harmonogram budování urychlovače LHC v CERN a kromě toho najít dodatečné finanční prostředky - nebo pokračovat podle původních plánů a tím ponechat otázku existence HB na několik let nerozhodnutou.

Vedení CERN nakonec zvolilo druhou z alternativ. Na počátku listopadu oznámilo oficiální ukončení činnosti LEP a vyjádřilo odhodlání věnovat všechny síly budování urychlovače a detektorů další generace. Ty ovšem získají výsledky, které by mohly něco vypovědět o HB, nejdříve v roce 2008. Do té doby se o tento zásadní objev nepochybně bude snažit další velká laboratoř - Fermiho národní laboratoř v USA s urychlovačem Tevatron. Pokud dokáže během následujících sedmi let uskutečnit a zaznamenat dostatečně velký počet srážek, mohlo by se jí to podařit. Zda tomu tak skutečně bude, není ovšem v tuto chvíli jasné.

Otázka existence Higgsova bosonu je v současnosti vzrušující a otevřená. Pro českou fyziku je důležité, že i po skončení činnosti LEP bude při tom - fyzikové z FzÚ AV ČR a MFF UK se účastní jak jednoho z experimentů na Tevatronu (na detektoru D0), tak připravovaného experimentu na LHC nazvaného ATLAS.

Jaroslav Dittrich, ÚJF AV ČR,  
Václav Kroha, ÚJF AV ČR,  
Jiří Rameš, FzÚ AV ČR