

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jiří Dolejší; Jiří Hořejší; Jiří Chýla; Alexander Kupčo; Rupert Leitner
Nobelova cena za fyziku za rok 2013 udělena za objev Higgsova bosonu

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 59 (2014), No. 1, 1--5

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/143731>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2014

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.

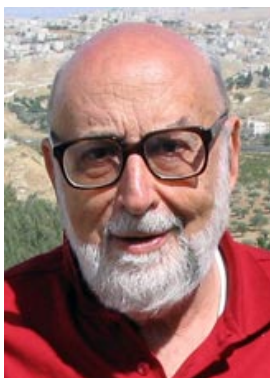


This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Nobelova cena za fyziku za rok 2013 udělena za objev Higgsova bosonu

Jiří Dolejší, Jiří Hořejší, Jiří Chýla, Alexander Kupčo, Rupert Leitner, Praha

Nobelovu cenu za fyziku za rok 2013 získali rovným dílem: Belgičan François Englert, emeritní profesor Svobodné univerzity v Bruselu, a Angličan Peter Higgs, emeritní profesor univerzity v Edinburghu, za teoretický objev mechanismu, který přispěl k našemu pochopení původu hmotnosti subatomárních částic a jenž byl nedávno potvrzen objevem předpovídané fundamentální částice v experimentech ATLAS a CMS na urychlovači LHC v CERN („*for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider*“).



FRANÇOIS ENGLERT



PETER HIGGS

1. Higgsův boson, jeho role, stručná historie

Objev Higgsova bosonu je posledním milníkem na cestě k potvrzení teoretických představ tzv. standardního modelu elektroslabých interakcí – teorie formulované na přelomu 60. a 70. let dvacátého století. Pro pochopení obsahu a smyslu udělené Nobelovy

Doc. RNDr. JIŘÍ DOLEJŠÍ, CSc., Katedra jaderné fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, e-mail: jiri.dolejsi@mff.cuni.cz, prof. RNDr. JIŘÍ HOŘEJŠÍ, DrSc., doc. RNDr. RUPERT LEITNER, DrSc., předseda Výboru pro spolupráci ČR s CERN, Ústav částicové a jaderné fyziky, Matematicko-fyzikální fakulta UK, V Holešovičkách 2, 180 00 Praha 8, prof. RNDr. JIŘÍ CHÝLA, CSc., Mgr. ALEXANDER KUPČO, Ph.D., Fyzikální ústav AV ČR, v. v. i., Na Slovance 2, 182 21 Praha 8, e-mail: chyla@fzu.cz

ceny je třeba připomenout některé širší souvislosti. Především to, že jakýmsi agentem nebo nosičem slabých interakcí jsou tzv. intermediální vektorové bosony (IVB) – částice blízkce příbuzné dobře známému fotonu, které však na rozdíl od něj mají nenulovou klidovou hmotnost.

Každý realistický model fundamentálních sil by proto měl zahrnovat mechanismus generování hmot IVB a přitom je žádoucí, aby kvantová teorie slabých interakcí byla pro přesné výpočty podobně funkční jako kvantová elektrodynamika. Možnou cestu k tomuto cíli otevřely právě práce z roku 1964 publikované těmito laureáty Nobelovy ceny. Tady je ovšem třeba podotknout, že Peter Higgs a jeho souputníci se nezabývali teorií elektroslabých interakcí. Jejich jednoduché modely skalárních a vektorových polí představovaly spíše poněkud abstraktní teoretické etudy, které byly ve své době na okraji hlavního proudu částicové fyziky. Rozhodující aplikace se Higgsův mechanismus dočkal o několik let později, ve slavné práci Stevena Weinberga o sjednocení slabých a elektromagnetických interakcí (1967).

Weinberg si zde navíc všiml toho, že jednoduchou modifikací Higgsova mechanismu je možno dát hmotnost např. elektronu (a dalším elementárním fermionům), a tím byl prakticky na světě současný standardní model. Výsledný obraz je pak takový, že pomocí Higgsova mechanismu, založeného na speciální dynamice skalárních polí, získají hmotu intermediální bosony, leptony a kvarky a foton zůstane nehmotný. Jako jakýsi vedlejší produkt zůstane přitom ve hře ještě jedna hmotná částice s nulovým spinem, která je elektricky neutrální, ale interaguje s ostatními známými částicemi, takže ji lze v principu experimentálně detekovat – to je právě onen Higgsův boson.

Je to tedy sice jen „vedlejší produkt“ dané realizace Higgsova mechanismu, ale jeho technický význam pro standardní model je ohromný: právě explicitní přítomnost Higgsova bosonu totiž způsobuje, že kvantová teorie elektroslabých interakcí je s ohledem na praktické výpočty plně funkční, jak už bylo řečeno výše. Skoro to tedy vypadá, jakoby příroda byla ohleduplná k teoretikům a přihrála jim Higgsův boson tak, aby mohli pro své výpočty používat techniky, rozvíjené a zdokonalované v rámci kvantové teorie pole posledních více než 60 let.

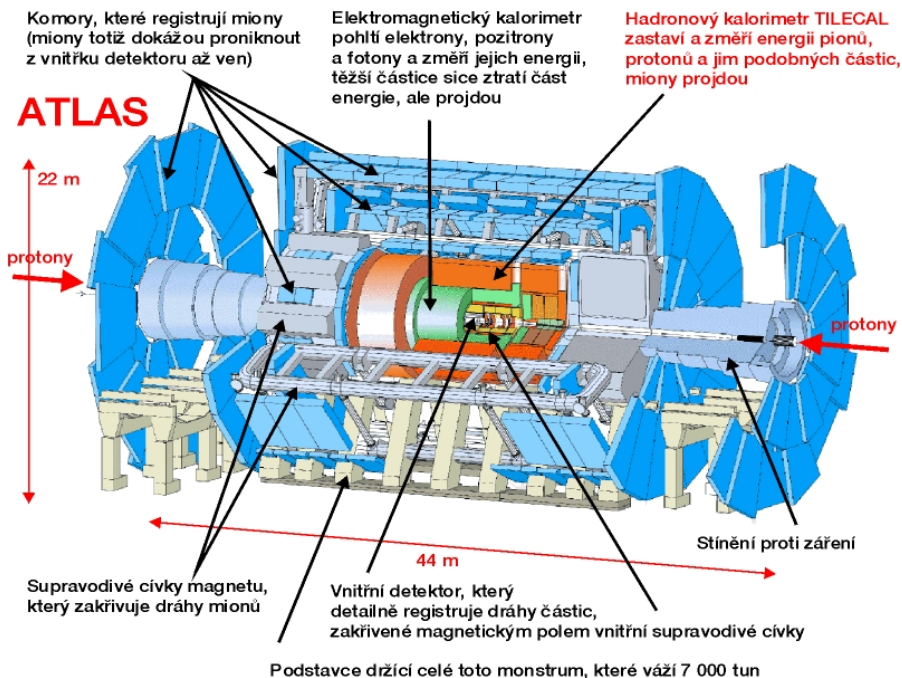
Dvě poznámky na závěr: Pokud pozorovaný boson je skutečně ten Higgsův boson, je to poprvé, co se pozoruje elementární částice se spinem 0, což samo o sobě je pozoruhodné. Za druhé, výměna Higgsova bosonu také reprezentuje určitou specifickou interakci, která není identická se žádnou z dosud známých čtyř fundamentálních sil. V tomto smyslu bychom tedy mohli také mluvit o objevu nové „páté interakce“.

2. Experimentální lov na Higgsův boson

Higgsův boson je nestabilní částice. Teorie nedokáže přímo určit velikost jeho hmotnosti, ale předpovídá velice přesně, jak se bude Higgsův boson rozpadat.

Experimentální potvrzení existence Higgsova bosonu bylo jedním z cílů částicových experimentů na nejvýkonnějších urychlovačích v minulých letech. Obecně záleží úspěšnost hledání nové částice především na dostatečné energii a intenzitě srážek urychlených částic a kvalitě detektorů zkoumajících produkty srážek.

Na přelomu století byl Higgsův boson hledán v experimentech na urychlovači LEP v CERN. Tyto experimenty, včetně experimentu DELPHI s účastí našich odborníků, dosáhly velice důležitých výsledků o částicích Z a W, přesně určily, že existují jen tři



Obr. 1. Řez komplexem detektoru ATLAS (MFF UK, ÚČJF)

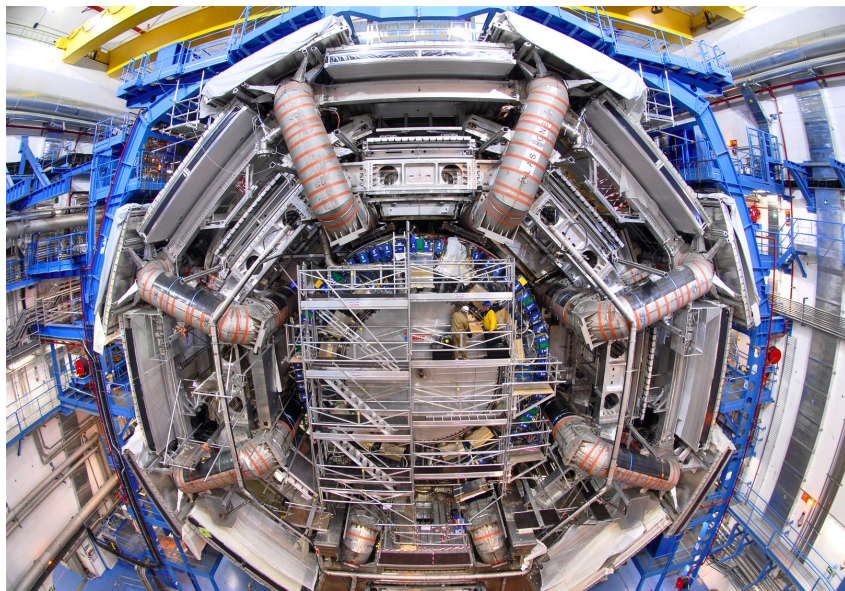
druhy neutrin. Energie srážejících se částic byla ale nedostatečná pro nalezení Higgsova bosonu.

V experimentech CDF a D0 (s účastí vědců z ČR) na urychlovači Tevatron ve FNAL v USA byl objeven nejtěžší kvark top, ale kvůli nedostatečnému množství srážek antiprotonů s protony byly získány jen velmi slabé náznaky případné existence Higgsova bosonu. Největším současným urychlovačem je Large Hadron Collider v CERN. Ten zahájil provoz na konci března 2010. V červenci 2012 oznámily týmy experimentů ATLAS a CMS, že při zkoumání srážek protonů na urychlovači objevily dosud neznámý boson přibližně 130krát těžší než proton. Nalezené rozpady svědčily o tom, že by se mohlo jednat o dlouho hledaný Higgsov boson. Další experimentální údaje nashromážděné do konce minulého roku prokázaly, že i další rozpady a vlastnosti nové částice jsou v souladu s očekávanými vlastnostmi Higgsova bosonu.

Dnes je existence Higgsova bosonu prokázána ve dvou různých experimentech ATLAS a CMS, v každém z nich přibližně v tisícovce rozpadů na tři různé páry částic.

3. Experiment ATLAS a účast jednotlivých institucí z ČR

Detektor ATLAS je navržen tak, aby vytěžil co nejvíc z objevitelského potenciálu LHC. Provoz detektoru a zpracování dat vyžaduje ohromné množství lidských zdrojů, mezinárodní tým ATLAS tvoří přes 3000 fyziků z téměř 180 různých univerzit a laboratoří z 38 států. Mezi nimi je tým více než 60 fyziků a studentů ze čtyř vědeckých institucí z České republiky: Českého vysokého učení technického v Praze, Fyzikálního ústavu AV ČR, Univerzity Karlovy v Praze a Univerzity Palackého v Olomouci.

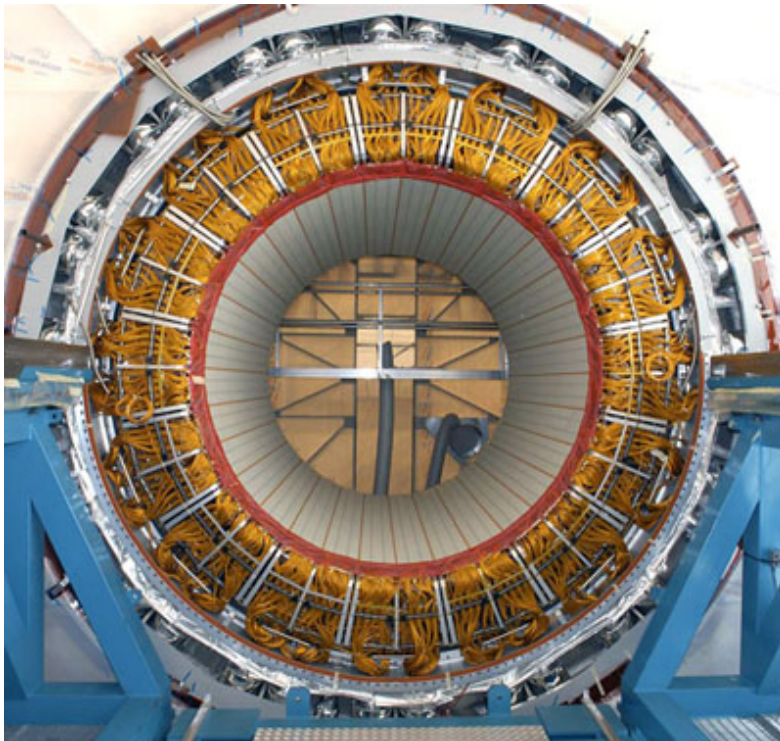


Obr. 2. Dutina komplexu ATLAS v průběhu stavby v roce 2006 (atlas.ch)

ČVUT, FZÚ AV ČR a UK patří mezi zakládající členy experimentu ATLAS v roce 1992. Naši fyzikové se tak od počátku podíleli na návrhu detektoru i na jeho konstrukci. Hlavními příspěvky bylo vybudování částí hadronového kalorimetru, vnitřního dráhového detektoru, ochranného neutronového stínění a speciálních detektorů částic rozptýlených na malé úhly. Do výstavby detektorů se podařilo zapojit také české firmy. Za vynikající splnění zakázek pro CERN byla firmám Škoda-Hutě a ON Semiconductor uděleno prestižní ocenění ATLAS Industrial Award.

V současné době zajišťujeme provoz těch částí detektorů, které jsme postavili, a připravujeme jejich modernizaci nutnou v nadcházejících letech, kdy dojde k navýšení výkonu LHC. Naši fyzikové a studenti se samozřejmě také zabývají zpracováním a analýzou dat. Pro zpracování těchto extrémních objemů dat, které experimenty produkují, byl vytvořen zcela nový model distribuovaného počítání. Můžeme připomenout, že již v minulosti byl pro potřeby částicových experimentů v CERN vytvořen systém, který se stal základem dnešního, po celé planetě rozšířeného Webu. Fyzikální ústav AV ČR provozuje výpočetní středisko, které je součástí této globální počítačové sítě organizované CERN a které slouží k analýze dat z LHC.

Díky výborné spolupráci mezi jednotlivými institucemi z řad vysokých škol a Akademie věd se odborníci z ČR dokázali v početném kolektivu ATLAS prosadit a docílit významného příspěvku k fyzikálním cílům, včetně hledání Higgsova bosonu i podílu na vedení experimentu ATLAS. Experiment ATLAS hraje významnou roli při výchově našich studentů a mladých vědeckých pracovníků a ti jsou na oplátku zárukou budoucích úspěchů experimentu. Objev Higgsova bosonu vyžadoval obrovské úsilí mnoha lidí a čeští vědci k tomuto celosvětovému úsilí prostřednictvím experimentu ATLAS důstojně přispěli. Projekt ATLAS byl do roku 2003 podporován MPO ČR a od roku 2004 je podpořen MŠMT ČR.



Obr. 3. Elektromagnetický kalorimetr

4. CERN – inkubátor nových technologií a myšlenek

Objev Higgsova bosonu představuje vyvrcholení dvacetiletého úsilí tisíců vědců a techniků z celého světa najít tuto částici. CERN je však mnohem více. Jeho výzkumný program zahrnuje kromě řady dalších experimentů, využívajících ve světě unikátní systém urychlovačů, také aplikačně orientovaný výzkum, rozvíjející technologie a metody vyvinuté původně pro fyziku částic: zobrazovací metody pro lékařství a biologii, urychlovače pro protonovou terapii nádorů, metody pro zpracování toxických odpadů, výzkum vlivu kosmického záření na klima na Zemi a řadu dalších.

CERN je dnes vedoucí laboratoří fyziky částic ve světě, a aby si toto postavení udržel, společně s členskými státy vypracoval a 31. 5. 2013 přijal Evropskou strategii pro fyziku částic, která formuluje hlavní priority evropských států při výzkumu fundamentálních zákonů přírody v následujícím desetiletí. Plné využití urychlovače LHC, na němž byl Higgsův boson objeven, je v těchto prioritách na prvním místě.

Pozn. ved. redaktora. Použití teorie grup, které v šedesátých letech vedlo k předpovědi Higgsova bosonu, je dobře popsáno v D. Mackenzie, *What's happening in the mathematical sciences*, AMS, 2013. Higgsův mechanismus dovolil konzistentně zavést hmotové členy do lagrangianu elektroslabé interakce tak, aby vyhovovaly symetrii grupy $SU(2) \times U(1)$ komplexních matic typu 2×2 . Spektrum invariantních hmotností, kde je patrný signál Higgsova bosonu, je dostupné na: <https://atlas.web.cern.ch/Atlas/GROUPS/PHYSICS/PAPERS/HIGG-2013-02/>