



Urychlujeme vědu a inovace
Společenský přínos evropského výzkumu ve fyzice částic

Obsah



Seminář v CERN, na němž byl 4. července 2012 oznámen nový objev, vyvolal značnou pozornost médií.

Kam jsme zatím došli	4
Společný výzkum ve fyzice částic Zkušenost pro Evropu: spolupráce přináší plody	7
Lékařství a biologie Částice ve službách zdraví	9
Energie a životní prostředí Plány nejsou skromné: uspořit energii, uklidit na planetě	12
Komunikace a nové technologie Hnací síla vynalézavosti	14
Společnost a znalosti S lidmi a pro lidi	17
Evropská strategie pro fyziku částic Aktualizace 2013	20

PŘIPRAVILI

James Gillies (CERN), Camilla Jacobson (Švédská rada pro výzkum), Arnaud Marsollier (CNRS/CERN), Vanessa Mexner (Nikhef), Terry O'Connor (SFTC)

NAPSAL

Tim Radford

GRAFICKÁ ÚPRAVA

Fabienne Marcastel, Eric Mathieu

PŘEKLAD

Jiří Rameš

ILUSTRACE

© CERN – s výjimkou stran:
11 (©CNAO), 15 (© 2010 TerraMetrics, © 2010 Digital Globe, © 2010 Cnes/Spot Image, © 2009 Google), 17 (© SSTL & © Tom Whyntie), 19 (© Sensiflex)

Připravila Evropská skupina pro komunikaci ve fyzice částic (European Particle Physics Communication Network) pro Radu CERN v květnu 2013.

Česká verze této brožury vznikla s podporou CERN.

Na českém vydání se podílelo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR.

CERN-Brochure-2013-004-Cze

Kam jsme zatím došli

Agnieszka Zalewska a Michel Spiro

Na počátku padesátých let spojilo dvanáct evropských zemí síly a pustily se do odvážného vědeckého projektu – založily organizaci, která si kladla za cíl posunout náš kontinent na přední místo v základním výzkumu v oblasti jaderné fyziky a rozvíjet mírovou spolupráci evropských národů. Toto úsilí se vyplatilo a ani po šedesáti letech nepřestává přinášet plody. Středisko CERN sehrálo, v úzké spolupráci s evropskými univerzitami a dalšími výzkumnými institucemi, klíčovou roli při prohlubování našich znalostí o základních stavebních kamenech světa a o tom, jak jejich vzájemným působením vznikají složité struktury jako hvězdy, planety nebo lidské bytosti. Bádání v CERN zároveň vede k rozvíjení nových technologií a technickým inovacím, jež přinesly a stále přinášejí prospěch celé společnosti. Tyto úspěchy nezůstaly bez ocenění: Několika vědcům z CERN byla udělena Nobelova cena jak za vědecké objevy, tak za rozvoj technologií, které je umožnily.

Po celé uplynulé půlstoletí hrál CERN podstatnou úlohu při budování experimentálních základů toho, čemu dnes říkáme standardní model fyziky částic – teorie, která popisuje a vysvětluje procesy a zákonitosti, jež ovládají fundamentální částice a jejich interakce. Základní obraz hmoty je zdánlivě jednoduchý: K popisu pozorovatelného vesmíru v celé jeho rozmanitosti stačí čtyři druhy částic. Nazývají se kvarky u, kvarky d, elektrony a elektronová neutrína. Kvarky jsou svázané dohromady do podoby nukleonů – protonů a neutronů. Z nukleonů se skládají atomová jádra, která spolu s elektrony vytvářejí atomy. Elektronová neutrína, tak lehká, že jsme dosud nedokázali změřit jejich hmotnost, se pohybují po celém vesmíru téměř rychlostí světla. Ze zatím neznámých důvodů vytvořila příroda

vedle této rodiny částic ještě dvě její těžší kopie. Tyto těžší částice se za běžných podmínek rozpadají na částice z nelehčí rodiny. Obrázek doplňuje ještě další typ částic, které zprostředkují interakce mezi částicemi hmoty. Standardní model byl vybudován na základě studia chování všech těchto částic v laboratořích jako CERN.

V roce 2012 oznámily experimenty ATLAS a CMS v CERN objev částice, která je s velkou pravděpodobností poslední součástí standardního modelu – Higgsovým bosonem. Tato částice se poprvé objevila v teoretické práci z roku 1964 v souvislosti s tím, co dnes nazýváme Broutův-Englertův-Higgsov mechanismus a co souvisí s postupem, jak zahrnout do standardního modelu nenulovou hmotnost dalších

Velký hadronový urychlovač LHC
v CERN: urychlujeme vědu a inovace



částic. I když objev Higgsovy částice znamená završení standardního modelu, neznamená to konec cesty, ale spíše nový začátek. Standardní model popisuje chování kvarků u a d, elektronů, elektronových neutrin a jejich těžších sestřenic a bratranců, avšak my dnes na základě pozorování víme, že drtivou většinu hmoty a energie ve vesmíru, nějakých 95 %, tvoří něco jiného, čemu říkáme skrytá (nebo temná) hmota a energie. Standardní model také nemá co říci ke gravitaci a k převaze hmoty nad antihmotou ve vesmíru. To jsou jen některé z otevřených problémů v popředí zájmu současného výzkumu ve fyzice částic.

Aby mohl být objeven Higgsův boson, bylo třeba uskutečnit jeden z nejvíce ambiciózních vědeckých projektů, do jakých se kdy lidstvo pustilo – postavit urychlovač zvaný Velký srážecí hadronů neboli LHC (Large Hadron Collider). Přes 10 000 techniků a vědců z více než 100 zemí spojilo síly, aby postavili a zajišťovali provoz LHC a detektorů částic, které zaznamenávají srážky, k nimž na urychlovači dochází. LHC urychluje protony ve svazku na 99,9999991% rychlosti světla, používá supravodivé magnety chladnější než mezgalaktický prostor a dochází v něm až k 600 000 srážkám protonů za sekundu. Tyto srážky zaznamenávají důmyslné detektory, které zároveň „prosívají“ data takovým způsobem, aby zbyla převážně ta vhodná pro hledání nové fyziky. Data jsou dále analyzována ve výpočetních centrech po celém světě s využitím systému distribuovaného počítání Grid. Aby tohle všechno dokázali, museli fyzikové a inženýři i jejich partneři z průmyslu vyvinout nové technologie, vytvořit nové přístroje a zvládnout zpracování obrovských objemů dat. Názorně to ukazuje sílu mezinárodní evropské spolupráce, při níž spojili své síly

teoretikové s experimentátory, univerzity s dalšími laboratořemi, výzkumné týmy a průmyslová konsorcia napříč celým kontinentem i za jeho hranicemi.

Klíčem k úspěchu Evropy na tomto poli je model řízení, který pro CERN vytvořili jeho otcové zakladatelé už před šedesáti lety. Rada CERN, již se nám oběma, autorům této stati, dostalo té cti předsedat, je orgánem, který určuje směr vývoje fyziky částic v Evropě od roku 1954. Jsou v ní zastoupeny všechny členské státy CERN. Právě tato rada schválila a průběžně podporovala projekt LHC, jehož uskutečnění od vytvoření ideové koncepce do spuštění urychlovače si vyžádalo více než dvě desetiletí. Pokud členské státy vyjádří prostřednictvím Rady CERN nějakému projektu podporu, znamená to dlouhodobý a seriózní závazek a vyvolá to zájem výzkumných týmů nejenom ze členských zemí CERN, ale z celého světa. Tak tomu bylo i s LHC, z něhož se tak stalo skutečně globální experimentální zařízení. I LHC představuje nový začátek, nikoli konec cesty. Dramatický pokrok v oblasti vědy nevyhnutelně povede k ještě náročnějším výzvám, vyžadujícím stále dokonalejší nástroje. Budoucí komplexy s urychlovači budou od samého počátku koncipovány jako globální projekty.

S vědomím potřeby rozvíjet dlouhodobý program evropské částicové fyziky přijala Rada CERN v roce 2006 dokument Evropská strategie pro fyziku částic. Po sedmi letech, kdy došlo k důležitému objevu a dalšímu vývoji v této oblasti, nastal čas naše představy o budoucnosti oboru aktualizovat. Po důkladných konzultacích se všemi zainteresovanými subjekty z Evropy i celého světa projednala Rada CERN novou verzi Strategie a schválila ji na speciálním zasedání v Bruselu 30. května 2013. S úplnou verzí přijatého dokumentu o strategii se můžete seznámit na konci

této brožury. Hlavním cílem strategie je dále upevňovat vynikající postavení Evropy ve fyzice částic, a to i s ohledem na celkovou situaci v této vědní oblasti ve světě a její ch souvislostech s dalšími obory jako astrofyzika, kosmologie nebo jaderná fyzika. Strategie zejména zdůrazňuje trvalou podporu Rady CERN projektu LHC a pokládá vylepšování důležitých parametrů urychlovače a detektorů za nejvyšší prioritu evropské komunity částicové fyziky.

Další kapitoly této brožury mají za cíl ukázat, že spojené úsilí evropských zemí při získávání nových fundamentálních poznatků přináší prospěch celé společnosti. Při spolupráci na prohlubování znalostí o fyzice částic vznikají trvalá partnerství, která přesahují hranice států. Vytvářejí se požadavky na nová technologická řešení a podmínky pro školení a další vzdělávání nové generace vědců a inženýrů. Přináší to inspiraci mladé generaci a všem lidem otevírá pohled na zázraky našeho vesmíru. Jak řekl generální ředitel CERN Rolf Heuer, základní výzkum je víc než jen zvětšování souboru lidských vědomostí – je to také základ spokojené lidské existence.

Agnieszka Zalewska

*Agnieszka Zalewska, předsedkyně
Rady CERN, 2013-*

MS

*Michel Spiro, předseda
Rady CERN, 2010-2012*

Společný výzkum ve fyzice částic Zkušenost pro Evropu: spolupráce přináší plody

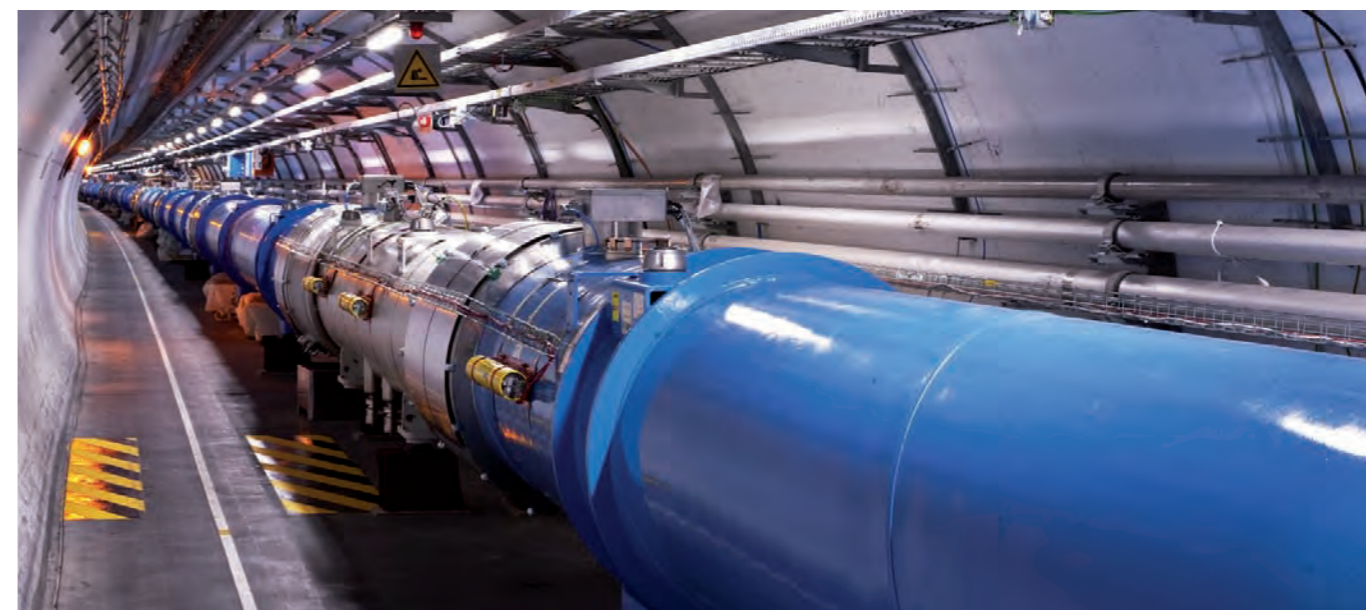
„Ducha Evropy charakterizuje vědomí příslušnosti ke společné kultuře a vůle sloužit tomuto společenství v duchu naprosté vzájemnosti, bez jakýchkoli skrytých motivů k ovládnutí či sobeckému využívání ostatních.“

Robert Schuman, 1949

Robert Schuman, vůdčí osobnost velké odvahy a pevných morálních zásad, zasvětil život odstraňování překážek stojících v cestě mírové spolupráci mezi národy. Bezprostředně po skončení nejničivějšího konfliktu, jaký svět zažil – v období, kdy po přestálých hrůzách války Evropané toužili po trvalém míru, avšak žili dosud v nejistotě a rozdělovaly je národnostní i ideologické hranice, přišel s naléhavou výzvou ke spolupráci určenou přátelům i bývalým nepřátelům. Věda, sdílející při svém snažení o nové objevy společné cíle a hodnoty a názorně dokládající efektivnost spolupráce v duchu naprosté otevřenosti a důvěry, měla sehrát při sjednocování evropského kontinentu nepostradatelnou roli.

Věda vždy přispívala k překonávání bariér. Více než třetina světových vědeckých publikací vzniká v mezinárodní spolupráci. I v CERN dnes spolupracují vědci, inženýři, technici a další pracovníci na společném díle při získávání nových poznatků. Tito hledači vědění, pocházející z více než 600 univerzit a výzkumných institucí z celého světa, získávají finanční prostředky od vlád států, Evropské unie, soukromého sektoru i dobročinných nadací – zcela v duchu výroku Louise Pasteura, že věda nemá vlast, protože vědění patří celému lidstvu a je pochodní, jež osvětluje svět.

Návrhová studie konceptu HiLumi LHC zkoumá možnost zvýšit luminozitu svazku LHC o řád. To představuje mimořádně obtížný technický úkol, jehož řešení se neobejde bez spolupráce Evropy, Japonska a USA.



CERN byl ustaven právě na tomto principu. Vědci a politikové na obou stranách Atlantiku, včetně osobností jako Edoardo Amaldi, Pierre Auger, Lew Kowarski a Isidor Rabi, podpořili výzvu Louise de Broglie k vytvoření evropské laboratoře, pronesenou na Evropské kulturní konferenci v roce 1949. V roce 1950 předložil Rabi k projednání rezoluci UNESCO, jež byla jednomyslně přijata a jež vyzývala k vytváření a organizování regionálních výzkumných center a laboratoří s cílem prohloubit mezinárodní spolupráci vědců a učinit ji ještě plodnější. Pouhé tři roky nato založilo dvanáct evropských zemí CERN.

CERN má v současnosti 21 členských států. Na výzkumu se podílí téměř 11 000 lidí (tzv. uživatelů) z téměř stovky zemí ze všech koutů světa, spojujících síly pro společné blaho všeho lidstva přesně v duchu výroku prvního předsedy Rady CERN, Sira Bena Lockspeisera: Vědecký výzkum může probíhat a vzkvétat jen v atmosféře svobody – svobody pochybovat, svobody zkoumat a svobody objevovat. Toto jsou podmínky, na jejichž splnění zakládá svoji existenci i tato nová laboratoř.

Tyto podmínky znamenají, že CERN je mnohem víc, než jen fyzikální laboratoř. Je to i líheň inovací, místo, kde svoboda od hranic všeho druhu inspiruje rozvoj technologií, jež tvoří základy našeho moderního světa. O některých, jako je léčba zhoubných onemocnění, zobrazovací metody v lékařství i průmyslu, využití ionizujícího záření, elektronika, měřicí přístroje, nové výrobní postupy a materiály, informační technologie a světová síť WWW, bude řeč na jiných místech této publikace.

Tyto výsledky základního výzkumu přispívají k rozvoji ekonomiky na všech úrovních, v národním i mezinárodním měřítku. Objem trhu s přístroji na

lékařské zobrazování se odhaduje na 10 miliard euro za rok, s ročním nárůstem 10%. Světová síť World Wide Web, vynalezená před více než dvaceti lety v CERN původně jako nástroj ke sdílení informací při spolupráci experimentátorů na urychlovači LEP, generuje dnes roční obchodní obrat ve výši 1,5 bilionu euro. Ve srovnání s 1 miliardou euro, vydávanou podle průzkumu organizace TIARA ročně na základní výzkum v CERN a dalších asi 200 laboratořích s výzkumnými urychlovači na světě, to jsou velké částky.

Ekonomický a společenský prospěch, který přináší částicový výzkum, jaký probíhá v CERN a v dalších ústavech a laboratořích po celé Evropě, se do velké míry opírá o využití urychlovačů, původně vyvinutých ve 20. a 30. letech minulého století ke zkoumání fundamentálních vlastností atomových částic. Urychlovače začaly přinášet ekonomický zisk – a celospolečenský užitek – zhruba před 60 lety. Na 20 000 průmyslových urychlovačů po celém světě dnes vytváří, sterilizuje nebo testuje různé produkty a poskytuje služby v hodnotě 400 miliard euro ročně. V tom není zahrnuto 10 000 urychlovačů používaných pro lékařské účely v mnoha světových nemocnicích.

Tyto přístroje například modifikují bílkoviny pro farmaceutické účely nebo zkoumají atomové struktury při vývoji nových materiálů. Mohou vyrábět izotopy pro lékařskou diagnostiku, ozařovat hluboko ležící nádory, implantovat ionty do vysokorychlostních tranzistorů nebo zvýšit tvrdost uhlíkových kompozitních materiálů do té míry, že nahradí ocel. Používají se při zkoumání uměleckých děl, archeologických vykopávek, čistí škodlivé zplodiny, dokáží upravovat jaderný odpad a sterilizovat potraviny.

Tyto úspěchy by nebyly možné bez vědecké spolupráce a součinnosti

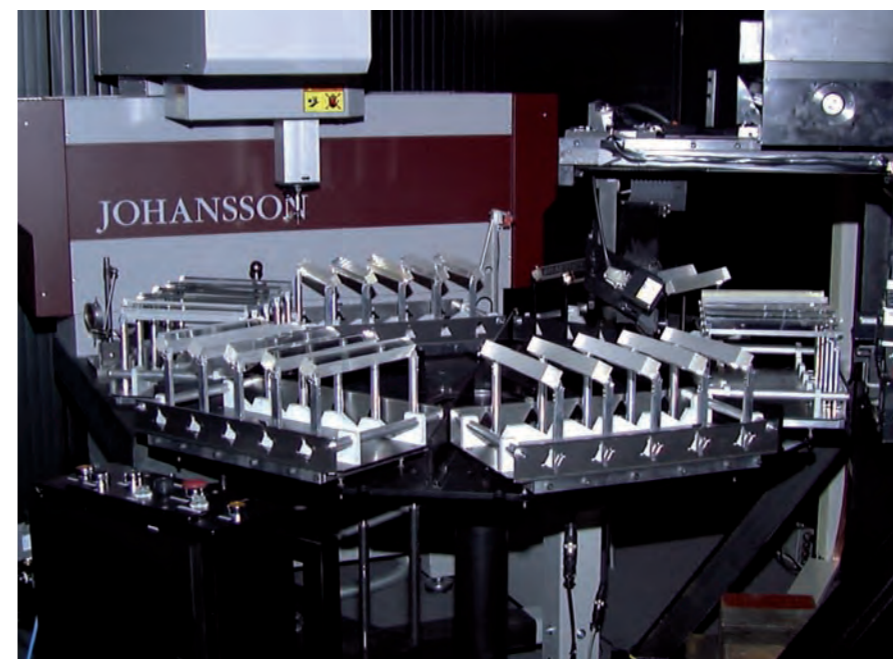
napříč sjednoceným evropským kontinentem. Evropská strategie pro fyziku částic si klade za cíl toto úsilí prohloubit a předkládá celoevropskou vizi budoucnosti částicové fyziky. Jde však ještě dál a deklaruje přání Evropy podílet se na podobných aktivitách i mimo své hranice. Dává tím jasně najevo, že výzkum ve fyzice částic se ani nadále neobejde bez ducha mezinárodní spolupráce, jak ho formulovali Schuman, Pasteur a Lockspeiser.



EUROTeV tvoří konsorcium institucí z Německa, Francie, Itálie, Španělska, Švédska a Velké Británie, jež se podílejí na vytvoření koncepce lineárních srážeců s dosahovanou energií řádu TeV.



EuCARD je síť 37 evropských laboratoří, ústavů, univerzit a průmyslových partnerů působících v oblasti vývoje a stavby urychlovačů a přispívajících k výstavbě infrastruktur světové úrovně.



Krystaly wolframanu olovnatého pro experiment CMS v CERN. Podobné krystaly se používají ve skenerech PET.

Lékařství a biologie

Částice ve službách zdraví

Na technologiích pocházejících z fyziky částic je založeno také mnoho důležitých lékařských metod a aplikací. Nejmodernější techniky převzaté z urychlovačů a detektorů se používají ve stále větší míře při prevenci, diagnostice, léčení a prognózování chorob.

Je to už dávno, co fyzika dala lékařům rentgenové záření a radioterapii. I současný vývoj v částicové fyzice jim však stále poskytuje nové způsoby, jak diagnostikovat nemoci, zobrazovat či léčit nádory a prodlužovat lidské životy.

Lepší diagnostika, přesnější zobrazování

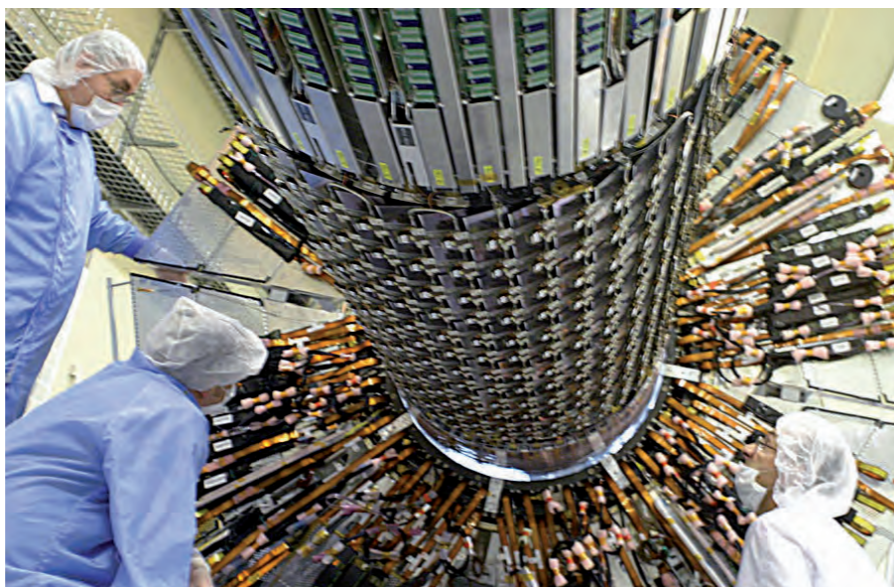
Výzkumné sdružení CCC (Crystal Clear Collaboration) našlo způsob, jak zmenšit scintilační detektory používané v mohutném detektoru CMS v CERN a použít je ke konstrukci skeneru pro pozitronovou emisní tomografii (PET), který dokáže zkoumat mozkovou aktivitu krysu a myši. Portugalský program ClearPEM využívá tytéž scintilační

krystaly k efektivnějšímu rozpoznávání rakoviny prsu. Nádorové onemocnění prsu postihne jednu ženu z osmi. Včasná diagnóza zachraňuje životy. Nová technika je až pětikrát citlivější než běžná rentgenová mamografie a vede k menšímu počtu falešných nálezů, které často vedou ke zbytečným chirurgickým zákrokům a strádání pacientek.

Jiná metoda využívá kalorimetrii, původně vyvinutou k detekci částic, při boji proti rakovině slinivky břišní. Masivní technologii, jež dokáže změřit a zaznamenat energii 600 milionů srážek částic za sekundu, se podařilo změnit tak, že může detekovat jednotlivé fotony ve třech dimenzích a zobrazit s vysokou

presností například biomarkery v rodícím se nádoru. Namísto ukládání pacienta dovnitř mohutného skeneru tak lékaři mohou umístit jen drobný skener do jeho těla. Proměna největšího detektoru na světě na jeden z nejmenších a nejpřesnějších si vyžádala čtyři roky práce šedesáti vědců ze 13 institucí a náklady 6 milionů euro. Technologie vyvinutá v rámci projektu Endo-TOFPET-US, jež zahrnuje endoskopii, PET, ultrazvuk a detekční techniku zvanou time-of-flight, bude stokrát citlivější než celotělový skener PET. CERN je členem sdružení CERIMED – evropského centra pro zobrazovací metody v medicíně, v jehož rámci spolupracují výzkumné laboratoře, průmyslové společnosti

Příprava křemíkového pixelového detektoru pro experiment ATLAS v CERN.



a nemocnice a jež zabývá dalším rozvojem této metody.

Existují i další možnosti, jak využít přesnosti, kterou nezbytně vyžadují experimenty na LHC. Nové detekční techniky umožní chirurgům i lékařům dalších specializací sledovat objekty svého zájmu zřetelněji a se stále lepším rozlišením. Mohou dokonce přispět i k léčení určitých forem slepoty. Představte si lidské oko jako svého druhu pixelový detektor. Jeden ze spolupracovníků experimentu ATLAS v CERN upravil systém určený původně k detekci kvarků top tak, že s ním lze zkoumat, jak sítnice oka přeměňuje signály z fotoreceptorů a předává je mozkové kůře. V sítnici je nejméně 22 typů ganglií, které lze nyní experimentálně monitorovat prostřednictvím nepatrného „neuročipu“ vyvinutého původně pro částicovou fyziku. Jiný tým přišel na způsob, jak využít počítačem obarvené snímky z tomografu k rozlišení trojrozměrných struktur a rozpoznávat zobrazení objektů uvnitř objektů. Detektor poslední generace Medipix3 umí odlišit od sebe chemické prvky, jež jsou na běžném zobrazení jen bílé – rozezná třeba vápník v kostech od jódu a přiřadí jim různé barvy podle odezvy v závislosti na vlnové délce. Další technologie, jež byla vytvořena pro detektory na LHC, dokáže analyzovat nové léky a dokonce rozpoznat pašované drogy. Jeden ze skenerů založený na výsledcích výzkumu spolupráce Medipix je schopen sledovat dvě nebo více kontrastních látek v těle pacienta zároveň – například jód v cévním systému a baryum v játrech. Skener pro počítačovou tomografii MARS (Medipix All Resolution System) je od roku 2009, kdy byl svým novozélandským výrobcem uveden na trh, využíván při zkoumání nádorových onemocnění a kardiovaskulárních chorob. Projekt Neurospin přivádí k dosud nebývalé přesnosti zobrazování magnetickou rezonancí. Díky ní lze podrobně zkoumat nervový systém, ale také vážná neurodegenerativní onemocnění, jimž padne za oběť množství životů. Projekt využívá detekční technologii vzniklou původně v CERN a dále rozvinutou odborníky z francouzské komise pro atomovou energii.

Vedoucí úloha při rozvíjení částicové terapie nádorových onemocnění

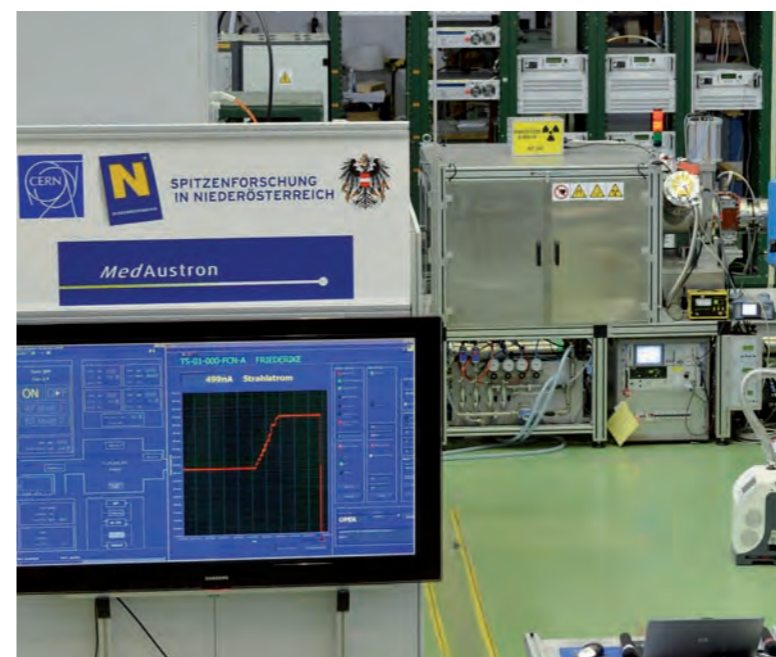
Výzkum motivovaný fyzikou částic se ovšem nezaměřuje jen na detekci a diagnostické metody. Zkrocené a ovládnuté částice slouží i k léčení. Ve 40. letech 20. století přišel americký částicový fyzik Robert Wilson s poznatkem, že při léčbě určitých druhů nádorů lze se svazky protonů dosáhnout lepších výsledků než při použití rentgenového záření v tradiční radioterapii. V Evropě se postupně začala používat terapie s piony, protony nebo uhlíkovými ionty. Nejprve to bylo možné jen ve fyzikálních laboratořích vybavených urychlovači jako PSI ve Švýcarsku nebo GSI v Německu. V 90. letech inicioval fyzik Ugo Amaldi z CERN vytvoření sítě center pro hadronovou terapii TERA. V CERN byl v rámci projektu PIMMS (Proton Ion Medical Machine Study) navržen urychlovač optimalizovaný pro hadronovou terapii, jenž byl posléze umístěn ve dvou nových centrech – MedAustron v Rakousku a CNAO v Itálii. S další aktivitou přišli vědci pracující na antiprotonovém experimentu ACE, kteří zkoumali možnost použít při léčbě zhoubných nádorů antiprotony.

Svazek hadronů předává v ideálním případě energii pouze nádorové tkáni, čímž ničí DNA v rakovinových buňkách a zasahuje tak nádor v nejslabším místě, ale nepoškozuje okolní zdravou tkáň. ACE je v ničení buněk ještě účinnější, protože používá částice antihmoty a uvolňuje tak v nádoru více energie. Je zřejmé, že výzkum postupů, jak ničit nádory, z nichž mnohé byly ještě nedávno neléčitelné, je třeba koordinovat. Proto vzniklo konsorcium ENLIGHT, jež sdružuje na 300 výzkumných pracovníků – lékařů, fyziků, biologů, inženýrů – z 20 evropských zemí a zahrnuje čtyři projekty financované EU, mezi nimi projekt ULICE (Union of Light Centres in Europe). Tato spolupráce v oblasti částicové terapie se soustřeďuje na monitorování pacientů, vylepšování diagnostických a léčebných metod, vzdělávání, sdílení dat, stanovení pravidel pro ozařování a usiluje o přesné pochopení toho, co se děje na molekulární úrovni, když proud hadronů zastavuje rakovinné bujení.

Nové detekční techniky umožní chirurgům i lékařům dalších specializací vidět zřetelněji a s lepším rozlišením

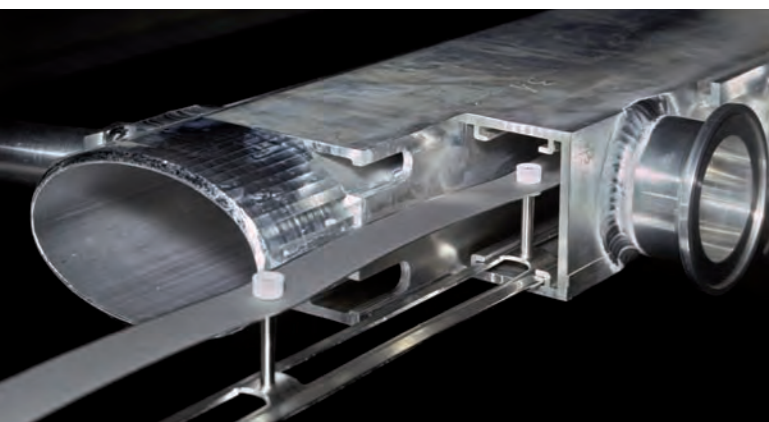
Vlevo: Testovací zařízení v CERN pro projekt MedAustron.

Vpravo: Synchrotron v italském centru CNAO.



Energie a životní prostředí

Plány nejsou skromné: uspořit energii, uklidit na planetě



Urychlovače a detektory, vytvořené původně pro potřeby základního výzkumu, nacházejí dnes uplatnění v celé řadě aplikací, třeba při redukci znečištění ovzduší nebo monitorování atmosféry a nitra Země. Špičkové technologie vyvinuté pro fyziku se s velkou efektivitou využívají v dalších, naprosto neočekávaných oblastech.

Při každé snaze ušetřit je dobré začít u sebe. Jeden příspěvek k úspornějšímu zacházení s energií se tak bezprostředně týká „velké vědy“ samotné. CERN a další velké evropské laboratoře se v roce 2011 na konferenci v Lundu ve Švédsku zavázaly, že budou co nejlépe a nejefektivněji využívat energii při napájení urychlovačů, soustředí se na zlepšení jejího přenosu, obnovování a ukládání, recyklaci tepla a úspory vody, čímž názorně ukáží, jak minimalizovat svoji uhlíkovou stopu. I mimo hranice svých laboratoří však částicoví fyzikové a inženýři spolupracují při rozvíjení nových a často překvapivých postupů, jak přeměnit sílu vědy v energii pro lidstvo.

Sluneční panely s větší účinností

Jedním z nich je technologie, jež byla

vymyšlena ke zvýšení účinnosti při konverzi sluneční energie, posléze byla rozvinuta a dovedena k dokonalosti v CERN pro použití na urychlovači elektronů a pozitronů LEP a jeho následníku LHC, aby nakonec byla využita k původnímu účelu. Aby urychlovač fungoval co nejlépe, je třeba vytvořit v jeho trubicích nejdokonalejší vakuum na Zemi. Řešením se ukázala být jakási molekulární „mucholapka“, která zachytí každou částici, jež do ní narazí. Ta nyní lemují trubice, v nichž létají téměř rychlostí světla hadrony v LHC. Také sluneční kolektory mohou dobře využít vakuovou technologii, jež poskytuje vysoce efektivní tepelnou izolaci a díky níž dosáhnou podstatně lepší účinnosti než standardní střešní panely. Solární kolektory s vakuovou izolací vyráběné společností SRB Energy

Vlevo: Uvnitř trubice urychlovače LEP. Kovový pásek funguje jako molekulární mucholapka.

Vpravo: Stejná technologie je využita uvnitř těchto slunečních panelů na střeše ženevského letiště.

jsou dnes instalovány na ženevském letišti a dodávají tepelnou energii. I při zatažené obloze a pod vrstvou sněhu dosáhnou teploty 80°C.

Cesta k vysokoteplotní supravodivosti

Při napájení supravodivých magnetů, které udržují v urychlovači částice obrovských energií na kruhové dráze, se spotřebuje velké množství elektrické energie. Za normálních okolností musí velké proudy protékat tlustými měděnými kabely. Čím delší kabel, tím větší elektrický odpor a tedy větší ztráty. Řešením je supravodivost. Supravodivé kabely použité v LHC v CERN musí být chlazeny tekutým héliem na teplotu několik stupňů nad absolutní nulou. To by ovšem bylo při přenosu energie na větší vzdálenosti značně nepraktické.

Inženýři z CERN a z italské společnosti Columbus Superconductors S.p.A. proto testují supravodivé kabely z diboridu hořčíku, které jsou supravodivé při 25 stupních nad absolutní nulou. To je stále velmi nízká teplota, ale lze ji dosáhnout při mnohem menších nákladech. Pokud se podaří zvládnout tuto technologii v CERN, najde použití i v mnoha dalších oblastech.

Vývoj technologií na zpracování odpadu

Technologie z urychlovačů pomáhají také odstraňovat škodlivé látky. V textilní továrně v jihokorejském Daegu používají svazek elektronů z urychlovače k odstraňování toxických zbytků barviv z odpadní vody, zatímco ve Štětíně v Polsku odstraní urychlovač oxid siřičitý a oxidy dusíku z 270 000 krychlových metrů spalin za hodinu. Při pokusech v Texasu využili elektronový svazek k čištění odpadní vody a přeměně vysoce infekčních splašků z kanalizace na bezpečně použitelné hnojivo.

Od likvidace jaderného odpadu a vodního hospodářství...

Bylo by možné využít urychlovače částic při řešení problémů s jaderným odpadem z reaktorů? Pomocí svazků částic lze teoreticky přeměnit vysoce radioaktivní produkty jaderných reakcí na něco méně nebezpečného. Experiment TARC v CERN testoval tuto ideu už téměř před 20 lety a výzkum pokračuje v neutronovém experimentu n-TOF. Na něj navazuje projekt s označením Guinevere-Myrrha, jehož pokusy probíhají v Evropě a v Japonsku. Výsledky a zkušenosti získané při výzkumu v CERN a dalších laboratořích fyziky vysokých energií jsou nejrůznějšími způsoby uplatňovány v praxi a přinášejí tím ekonomický i společenský prospěch. Síť speciálních podzemních senzorů detekuje v Alpách přírodní kosmické záření a poskytuje tak francouzské

elektrárenské společnosti EDF přesné a aktuální údaje o velikosti sněhové pokrývky, což umožňuje dopředu stanovit, jaké bude množství vody v řekách po jarním a letním tání. Z efektivního vodohospodářství při provozu vodních elektráren tak má prospěch nejenom společnost EDF a její zákazníci, ale nakonec i všichni občané.

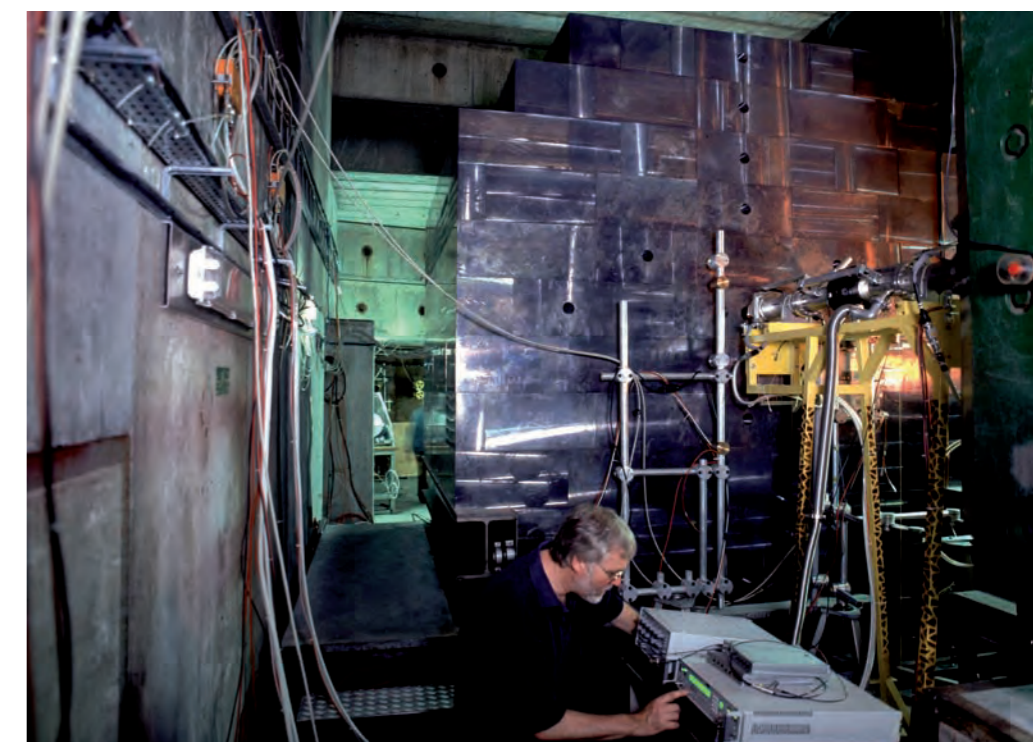
...k lepšímu pochopení vlastností atmosféry a nitra Země

Metody fyziky vysokých energií přinášejí užitek i při studiu vlastností kosmického záření. Experiment CLOUD, na němž spolupracuje 18 institucí z devíti zemí, využívá mlžnou komoru v CERN ke studiu možné souvislosti mezi kosmickým zářením a utvářením mraků. To může vést k lepšímu pochopení dynamiky atmosféry a vztahu mezi oblačností a klimatem.

Tři evropské skupiny používají teleskopy pro sledování kosmického záření k provádění jakési tomografie aktivních sopek, třeba Etny na Sicílii nebo Soufrière na Guadeloupe, nebo podzemních útvarů ve Švýcarsku a Francii. Jiný mezinárodní tým monitoruje neutrina z podzemních

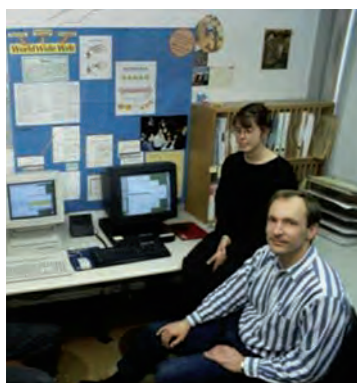
radioaktivních rozpadů a proniká tak k dalším tajemstvím nitra naší planety.

Experiment TARC v CERN odvedl v 90. letech 20. století důležitou práci při zkoumání možností využití systémů se svazkem z urychlovače k výrobě energie, likvidaci jaderného odpadu nebo výrobě izotopů pro lékařství.



Komunikace a nové technologie

Hnací síla vynalézavosti



Vynálezce WWW Tim Berners-Lee, student Nicola Pellow a první webový prohlížeč na světě.

Základní výzkum je inkubátorem nových myšlenek a idejí. Nové myšlenky je třeba sdílet, což je důvod, proč byla v CERN vynalezena světová síť World Wide Web. Tento nový nástroj určený původně pro snadnější domluvu fyziků vyvolal v krátkém čase celosvětovou komunikační revoluci. To byl ovšem jen začátek.

Komerční urychlovače pomáhají geologům hledat ropu, výrobcům zlepšovat radiální pneumatiky a pracovníkům ochrany na letištích rozpoznat podezřelá zavazadla. S jejich pomocí dokážeme zvyšovat tvrdost kovových povrchů, což vede ke zlepšení kvality kuličkových ložisek v autech i umělých kyčelních a kolenních kloubů, a vděčíme jim dokonce i za smrtitelné folie na potraviny. Technologie využívající urychlovače tak pomáhají vstát, vydat se na cestu – a vzít si s sebou třeba zabalený oběd. Komerční hodnota generovaná průmyslovými a lékařskými urychlovači po celém světě se odhaduje na 500 miliard euro ročně.

Zvládnout příval dat

Výzkumné urychlovače slouží především k získávání informací. Je ovšem třeba, aby k nashromážděným datům měli přístup fyzikové po celém světě. Aby se šíření takových informací dalo lépe zvládnout, vytvořil Tim Berners-Lee v CERN světovou síť WWW (World Wide Web) - a změnil tím vědu, vzdělávání, komunikaci, obchod i zábavu naprosto zásadním a do té doby nepředstavitelným způsobem. Celosvětová roční ekonomická hodnota WWW se nyní odhaduje na 1,5 bilionu euro. Pokračující výzkum ovšem přináší další otázky, nová řešení - a s tím také stále větší objemy dat. Aby CERN tento příval dat zvládl, spustil v roce 2002 projekt WLCG

(Worldwide LHC Computing Grid), který spojuje tisíce počítačů a datových úložišť, jež zpracovávají více než 20 petabytů dat z experimentů na LHC za rok. Pro srovnání, zdánlivě nevyčerpatelná informační kapacita lidského mozku, nejsložitějšího orgánu v nám známém vesmíru, činí podle neurobiologů 2,5 petabytu. CERN se v současnosti podílí i na dalších programech, které hledají nové a dosud neprošlapané cesty, jak podpořit výkon brilantních mozků Evropy a rozšířit možnosti globální komunikace.

Společný grid

Iniciativa EGI-InSPIRE má za úkol vytvořit a udržovat celoevropskou infrastrukturu pro elektronický provoz mezi „gridy“ vysoce výkonných výpočetních center a velkokapacitních úložišť. Pomůže také zahrnout do systému novou technologii distribuovaného počítání zvanou „cloud computing“, jejíž vznik si vynutila probíhající informační exploze. Další takovou spoluprací je HelixNebula, formace na bázi cloudů, jež řeší problémy se zpracováním informací ve třech velkých organizacích produkujících ohromná množství dat. Jednou z nich je projekt počítačového supercentra Evropské vesmírné agentury, jež má za úkol monitorovat parametry, které mohou signalizovat potenciální či skutečnou přírodní katastrofu („geohazard supersite“). Z pozorování obrovského rozsahu probíhajícího



Snímek z roku 2010 ukazuje spojení na území Evropy po gridové síti WLCG.

v reálném čase přichází každou sekundu nepředstavitelné množství dat, z nichž musí být při zpracování vybrána ta důležitá, jež umožní rozpoznat známky záplav, sopečných erupcí, zemětřesení nebo pomalého nástupu sucha. Nároky jsou obrovské, ale užitek, který z toho budou mít vlády, humanitární organizace, pojišťovací společnosti, obce i jejich občané po celém světě, bude nesmírný a může znamenat doslova rozdíl mezi životem a smrtí.

Výzkum přináší stále nové problémy k řešení a tím i nové vynálezy

Druhou z velkých organizací je Evropská laboratoř molekulární biologie, kde vyvíjejí portál pro analýzy rychle přibývajících sekvencí genomu lidí, zvířat, rostlin nebo mikrobů, využívající technologii cloudů. Počet párů bází DNA každého živého organismu jde do miliard a biologové na celém světě potřebují mít k této každým dnem narůstající lavině informací přístup. V nikdy nekončící bitvě proti nemocem a infekci se přínos laboratoře opět projevuje v počtu vyléčených pacientů a zachráněných

životů. Třetí studie v rámci spolupráce HelixNebula se týká experimentu ATLAS v CERN, který produkuje informace z 600 milionů srážek částic za sekundu. Jejich zpracování je věnována významná část z milionu gridových úloh, které každý den zadávají fyzikové z celého světa.

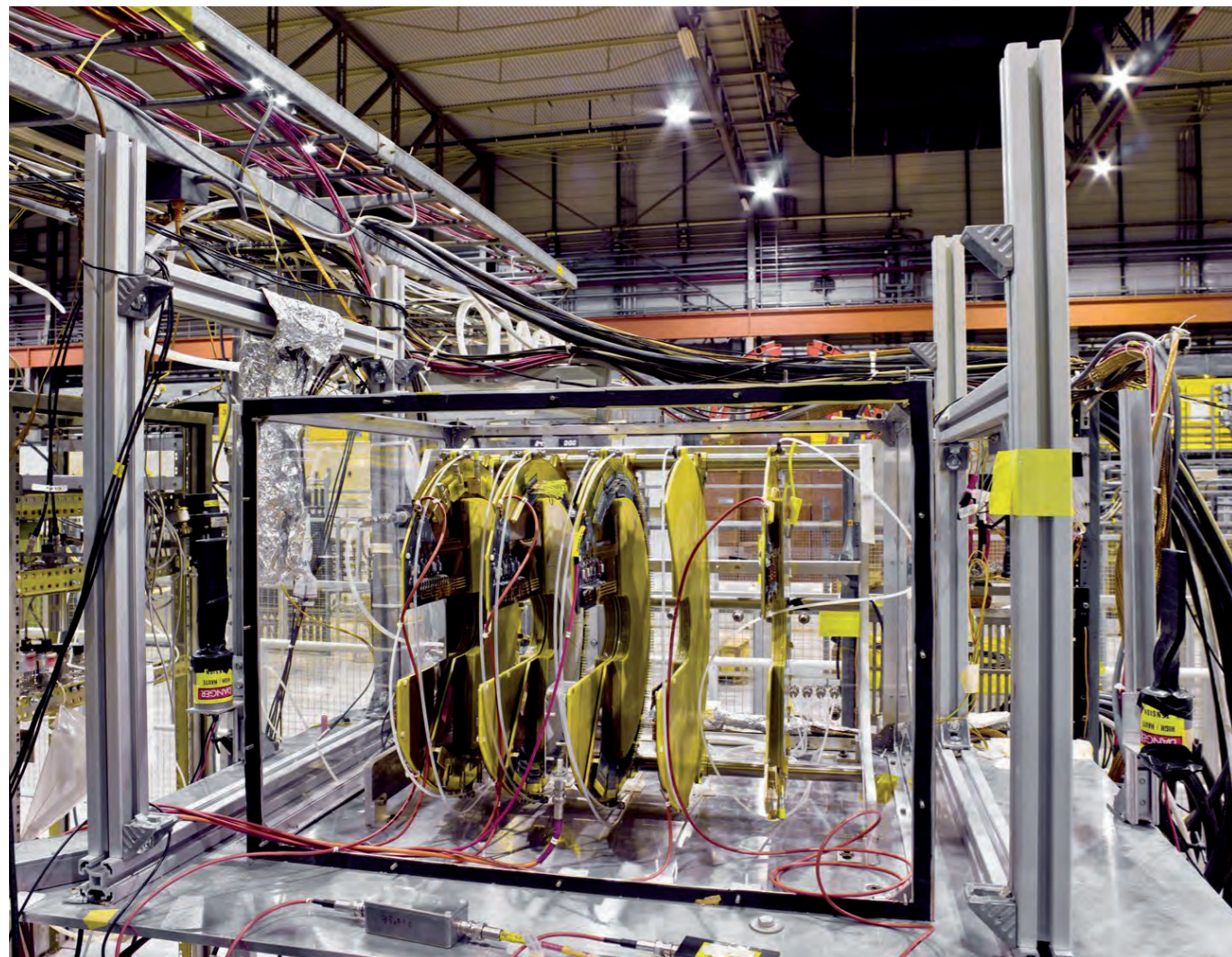
Toto všechno nyní slouží především špičkové vědě, ale má to dalekosáhlé důsledky pro celou společnost, protože podobné znalosti a technologie doslova mění naše vnímání světa. Stejně jako tomu bylo s WWW, i k rozvoji technologií grid a cloud mocně přispěly potřeby základního výzkumu, ale zároveň se rozšiřovalo jejich komerční uplatnění. V roce 2010 se obchodní hodnota gridového a cloudového počítání odhadovala na 35 miliard euro. V roce 2015 to může být až 120 miliard euro.

Technologické skvosty

Základní výzkum motivovaný lidskou zvědavostí nepodporuje jen rozvoj počítání a výpočetní techniky. Přináší také potřebu řešit bezprostřední praktické a technologické problémy a tato řešení ve většině případů nacházejí uplatnění i mimo čistou vědu.

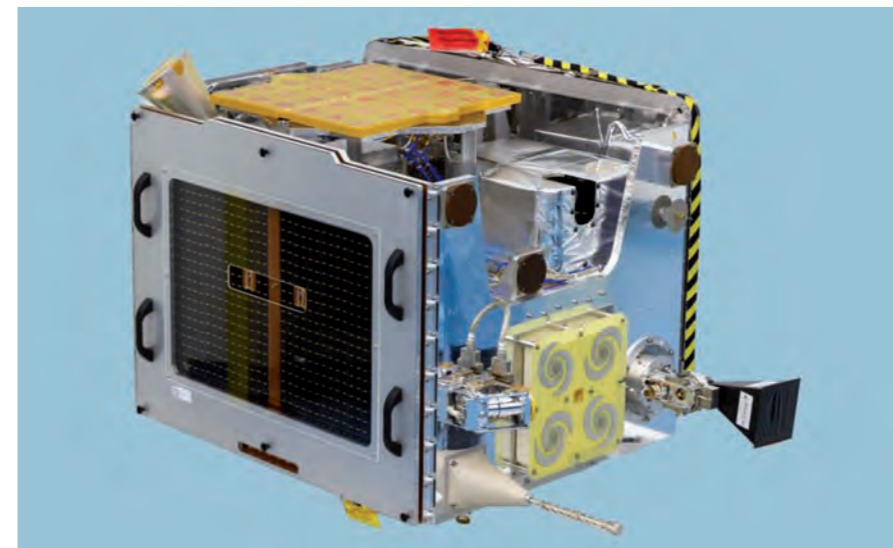
Křemíkové detektory hluboko v srdci experimentálních aparatur na LHC je třeba chladit. Pochopitelnou snahou je činit to co nejlevněji. Na základě pokusů s kapalným oxidem uhličitým byl vytvořen systém, který udržuje vnitřní část detektoru LHCb na stabilní teplotě -30°C a detektor AMS na Mezinárodní vesmírné stanici na 0°C . Nyní je k dispozici pět prototypů pro komerční využití. Plynový elektronový násobič GEM vyvinutý v CERN nachází uplatnění v medicíně, astrofyzice, strukturní analýze a mnoha dalších oborech. Jedna z aplikací dokáže detekovat první plameny lesního požáru na kilometrovou vzdálenost. To představuje stokrát větší citlivost, než jakou mají dosud používané senzory ultrafialového záření. Včasné varování je přitom nanejvýš důležité, protože plameny se mohou šířit rychlostí až 100 metrů za minutu. V roce 2003 ztratila Evropa během jediného dlouhého a horkého léta půl milionu hektarů lesních porostů a vznikla škoda několik miliard euro. GEM je jen jednou z asi 40 elektronických, detekčních, kryogenních, magnetických nebo urychlovačových technologií z nabídky CERN, na něž mohou získat průmyslové podniky nebo další laboratoře licenci. Každá z nich byla vyvinuta, aby vyřešila konkrétní problém při výzkumu, ale všechny mohou dosud netušeným způsobem pomoci rozvoji evropské ekonomiky.

Plynové elektronové násobiče GEM jako tento z experimentu TOTEM v CERN nacházejí uplatnění v širokém rozsahu oblastí od detekce lesních požárů po zobrazování v medicíně.



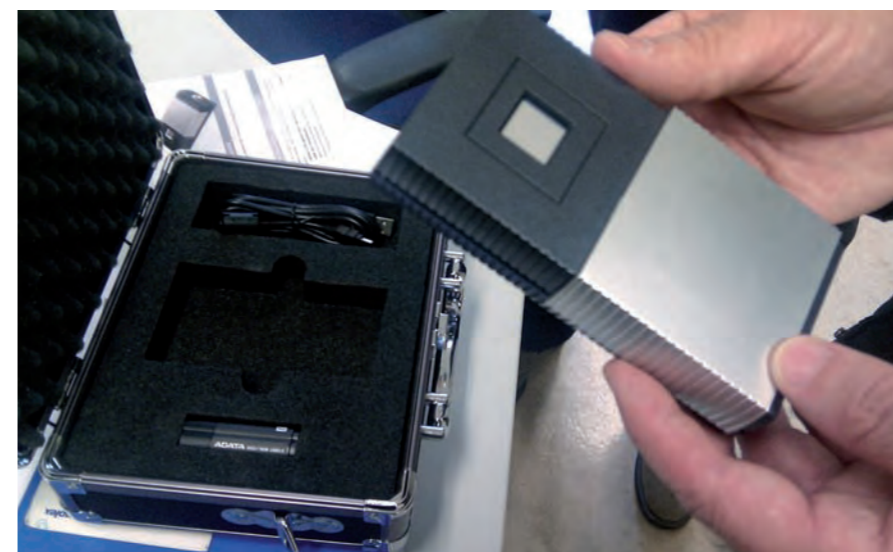
Společnost a znalosti S lidmi a pro lidi

Fyzika částic zformovala novou generaci školáků, informovaných učitelů, motivovaných studentů, vzbudila zájem napříč Evropou a dokonce stála u kolébky jednoho středoškolského experimentu na oběžné dráze Země. Změnila také způsob, jakým vnímáme svět.



Nahoře: Satelit TechDemoSat, jenž má být vypuštěn v první polovině roku 2014, bude mít na palubě technologii z CERN rozvinutou na jedné střední škole v Anglii.

Dole: Stejnou technologii využila firma Jablotron z České republiky při výrobě školní pomůcky.



Fyzika částic ve školách

Nikdy nepodceňujte „školskou“ fyziku. Součástí britského satelitu TechDemoSat-1 je experiment LUCID, vyvinutý jako studentský projekt na Chlapecké střední škole Simona Langtona v Canterbury v Anglii. Všechno začalo v roce 2007 návštěvou studentů z této školy v CERN. Tehdy jim fyzikové předvedli mikročipy vyvinuté pro detekci částic při srážkách na LHC a používané také v projektu Medipix pro zobrazování a diagnostiku v lékařství. Jeden aktivní a pro věc zapálený učitel potom dodal studentům – mezi nimiž jsou navzdory tradičnímu názvu školy i děvčata – odvahu, aby se zúčastnili soutěže o návrh experimentu pro kosmický výzkum.

Trénink nových dovedností

Padesátka studentů vytvořila vlastní malou výzkumnou laboratoř, založila Langdonské hvězdné centrum a začala pracovat na experimentu LUCID. Nadšení pro věc nepolevilo ani potom, co zakladatelé centra opustili školu. Ve spolupráci s firmou Rolls Royce využili studenti stejnou technologii při konstrukci přenosného monitoru záření v okolním prostředí. Česká společnost Jablotron začala ve stejné době vyrábět školní pomůcky, která tento čip Medipix využívá pro fyzikální pokusy. Fyzika částic poskytuje příležitost pro získání nových dovedností, vzbuzuje zájem a nadšení žáků škol, jejich učitelů i vysokoškolských studentů, motivuje postgraduální studenty a mladé výzkumníky. Díky ní byly dovedeny k dokonalosti desítky nových technologií, které jsou využívány i komerčně, její jedinečné zkušenosti v zacházení s daty nacházejí uplatnění

v satelitních programech monitorujících přírodní pohromy, znalosti detekčních technik slouží při zkoumání uměleckých děl nebo pomáhají zvyšovat bezpečnost na letištích. Inspirovala ovšem také celou nastupující generaci fyziků a inženýrů, což je přímým důsledkem promyšleného a cílevědomého úsilí zaměřeného na mládež. CERN organizuje programy pro středoškolské učitele a ve Francii a Švýcarsku se podílí v součinnosti s příslušnými státními orgány na programech přinášejících částicovou fyziku do základních škol. Mezinárodní organizace pro popularizaci fyziky částic IPPOG organizuje po celém světě speciální akce pro středoškolské studenty („masterclasses“). Projekty Discover the Cosmos a Go-Lab hledají nové způsoby, jak dostat informace o špičkové vědě do školních tříd. Organizace sestavuje programy pro učitele fyziky z členských států a nejméně v jednom případě i z mnohem

větší dálky. Portugalská laboratoř experimentální fyziky částic již několik let přivádí každoročně do CERN skupiny učitelů z Brazílie, Angoly, Mosambiku a dalších portugalsky mluvících zemí a pomáhá tak šířit vzrušení z vědeckých objevů i do méně rozvinutých částí

Lidské zdroje připravené na velké technologické výzvy nadcházejících desetiletí

světa. CERN spolupracuje s UNESCO na tvorbě digitálních knihoven a bezplatném poskytování softwaru africkým výzkumníkům. Je také hostitelskou organizací řady programů podporovaných EU a určených ke vzdělávání mladých výzkumných pracovníků v oblastech jako radiační a iontová terapie zhoubných nádorů, pokročilé technologie urychlovačů, použití virtuální reality pro extrémní

prostředí jako jaderná zařízení, kosmický prostor nebo hlubiny oceánů - a v celé řadě dalších. Smyslem takových iniciativ je zajistit lidské zdroje připravené na velké technologické výzvy nadcházejících desetiletí a poskytnout intelektuální potenciál a zdroje nápadů pro řešení dosud netušených problémů přelidněného a s nedostatkem energie se potýkajícího světa zítřka.

Na celém světě se zabývá výzkumem částic asi 15 000 fyziků. Mnozí další, jež získali v částicové fyzice vzdělání a zkušenosti, našli uplatnění v informatice, obchodě, finančním sektoru, zdravotnictví, školství, komunikacích nebo kosmickém průmyslu. Někteří dokázali adaptovat nová řešení složitých konstrukčních či technologických problémů pro širší využití a založili vlastní podniky. Jeden příklad: zdánlivě prostý problém měření polohy. Aby fyzikové dokázali

přesně rekonstruovat dráhy částic při srážkách, potřebují dokonale znát polohu detektorů, to, jak jsou spojeny a zda se ani o kousek nepohnuly. V holandském institutu Nikhef vyvinuli zaměřovací systém nazývaný Rasnik, který umí určit polohu detektoru s přesností jedné miliontiny metru. Následně založená průmyslová společnost Sensiflex dodává na trh variantu, která dokáže s obrovskou přesností zaznamenat sebemenší deformace velkých staveb a zjistit tak s předstihem, že hrozí zřícení nebo deformace tunelu, budovy či mostu.

Od barev na obrazech k Ötzi

Už dlouho přinášejí aplikace pocházející z fyziky vysokých energií užitek celé společnosti i v oblastech, kde by to původně nikdo nečekal. Urychlovačová hmotnostní spektrometrie je už desítky let nejlepší metodou, jakou mají archeologové k dispozici pro datování vzácných nebo snadno zničitelných

objektů. Byla použita i k určení stáří turínského plátna nebo „muže z ledu“ Ötziho, zmrzlé mumie člověka z doby bronzové nalezené vysoko v Alpách v roce 1991. Tato technika vyžaduje jen nepatrné vzorky zkoumané látky. Při použití metody PIXE, při níž nedochází k absolutně žádnému poškození materiálu, lze přesně identifikovat minerální či organické složky v barvách nebo složení slitin a určit tak původ materiálů, s nimiž umělci pracovali – případně odhalit padělek.

Největší zisk, jaký prostředky vynaložené na výzkum ve fyzice částic společnosti přinášejí, ovšem patrně není vyčíslitelný penězi. Zkoumání sub-mikroskopického světa nám pomáhá pronikat do nejhlubších tajemství vesmíru. Změnilo naše vnímání světa a poskytlo nový – byť zatím neúplný – pohled na podstatu hmoty a prostoru. To je nejspíš ten největší přínos ze všech.

Montáž systému Rasnik, vyvinutého pro zaměřování polohy částicových detektorů, v tunelu v Rotterdamu k monitorování deformací.

Účastníci třetí školy digitalizace knihoven CERN-UNESCO v senegalském Dakaru.



Evropská strategie pro fyziku částic

Aktualizace 2013

Připravila Skupina evropské strategie pro fyziku částic jako materiál pro speciální zasedání Rady CERN k evropské strategii v Bruselu 30. května 2013.

Preambule

V období po přijetí Evropské strategie pro fyziku částic v roce 2006 došlo při plnění nejdůležitějšího poslání tohoto oboru, odhalování zákonů přírody na nezákladnější úrovni, k výraznému pokroku. Průlomový objev Higgsova bosonu provázelo množství dalších experimentálních výsledků potvrzujících platnost standardního modelu za hranicí do té doby dosahovaných energií. To vyvolalo další otázky týkající se původu hmotností fundamentálních částic a možné role Higgsova bosonu v obecnější teorii, již by byl standardní model součástí a která by mohla zahrnovat další částice experimentálně pozorovatelné při energiích řádu teraelektronvoltů. Pokrok byl zaznamenán i na cestě k řešení letitých záhad jako asymetrie hmoty a antihmoty ve vesmíru či podstaty tajemné skryté hmoty. Pozorování dalších typů oscilací neutrin otevřelo cestu ke zkoumání asymetrie hmoty a antihmoty v neutrinovém sektoru. Objevují se velmi zajímavé možnosti pro experimenty přesahující do astročásticové fyziky a kosmologie. Na pozadí dramatického vývoje v našem chápání zákonitostí vesmíru aktualizuje Evropa svoji Strategii pro fyziku částic s cílem vytyčit směřování komunity v nadcházejících letech a připravit se na vývoj oboru ve vzdálenější budoucnosti.

Všeobecné otázky

- Úspěch LHC je důkazem efektivitu evropského organizačního modelu ve fyzice částic, založeného na trvalých dlouhodobých závazcích členských států CERN a národních ústavů, laboratoří a univerzit úzce spolupracujících s CERN. *Je žádoucí, aby Evropa tento způsob organizace výzkumu v zájmu udržení své vedoucí role zachovala, což umožní i nadále dosahovat úspěchů ve fyzice částic a přinášet další prospěch celé společnosti.*
- Velikost zařízení potřebných pro výzkum ve fyzice částic vede k celkové globalizaci oboru. *Evropská strategie bere celosvětový charakter fyziky částic a vývoje v příbuzných oborech v úvahu a bude tak činit i nadále.*

Rozsáhlé vědecké aktivity s nejvyšší prioritou

Po důkladné analýze většího množství možných typů vědeckých aktivit velkého rozsahu, jež vyžadují značné prostředky, velké mezinárodní spolupráce a dlouhodobé závazky, byla nejvyšší prioritou přiznána následujícím čtyřem:

- Objev Higgsova bosonu představuje počátek významného výzkumného programu s cílem změřit s nejvyšší možnou přesností vlastnosti této částice, testovat tak platnost standardního modelu a pátrat po případných projevech nové fyziky při nejvyšších dosahovaných energiích. LHC zaujímá pro uskutečnění tohoto programu jedinečné postavení. *Evropskou prioritou musí být naplno využít potenciálu LHC včetně modernizace urychlovače a detektorů na vysokou luminozitu se záměrem nashromáždit zhruba do roku 2030*

desetkrát víc dat, než kolik stanovil původní návrh. Toto vylepšení otevře další vzrušující možnosti také pro studium fyziky těžkých kvarků a kvark-gluonového plazmatu.

- Aby si Evropa zachovala svoji čelní pozici v částicové fyzice, musí být schopna v období do další aktualizace Strategie pro fyziku částic, k níž dojde poté, co budou známy fyzikální výsledky z LHC při energii srážek 14 TeV, zformulovat ambiciózní projekt nového urychlovače v CERN, jenž by byl nástupcem LHC. *Je třeba, aby CERN vypracoval návrhové studie projektů nového urychlovače, a to v globálním kontextu, přičemž zvláštní pozornost je třeba věnovat proton-protonovým a elektron-pozitronovým urychlovačům dosahujícím co nejvyšších energií. Tyto návrhové studie musí jít ruku v ruce s dynamickým programem výzkumu a vývoje urychlovacích technologií zahrnujícím magnety se silným magnetickým polem a urychlovací struktury s vysokým gradientem, to vše ve spolupráci s národními instituty, laboratořemi a vysokými školami po celém světě.*
- Existují závažné vědecké argumenty pro stavbu urychlovače elektronů a pozitronů komplementárního k LHC, jenž by dokázal studovat vlastnosti Higgsova bosonu a dalších částic s dosud nebývalou přesností a jehož energii by bylo možné po etapách zvyšovat. Byl dokončen technický návrh mezinárodního lineárního srážecího ILC (International Linear Collider), na němž se významně podílely evropské země. Iniciativa japonské částicové komunity vybudovat ILC na území Japonska je nanejvýš vítaná a evropské skupiny mají o účast vrcholný zájem. *Evropa s radostí očekává japonský návrh a otevření diskuse o možné účasti.*
- Rychlý pokrok ve fyzice neutrinových oscilací, k němuž Evropa významně přispěla, vede k plánům studovat narušení CP a hierarchie hmotností v neutrinovém sektoru v experimentech na velkou vzdálenost. *Je třeba, aby CERN vytvořil neutrinový program, který zajistí, že Evropa bude hrát v budoucích experimentech na velkou vzdálenost výraznou roli. Evropa by měla hledat možnosti větší spoluúčasti ve významných neutrinových experimentech na velkou vzdálenost v USA a Japonsku.*

Další vědecké aktivity nezbytné pro rozvoj fyziky částic

- Teorie je ve fyzice částic významným činitelem a poskytuje experimentům zásadní podněty – příkladem je klíčová role, jakou teorie sehrála při nedávném objevu Higgsova bosonu, počínaje formulací samotného standardního modelu a konče přesnými výpočty, o něž se experimentální pátrání opíralo. *Evropa bude podporovat různorodý a dynamický program výzkumu v teoretické fyzice, sahající od abstraktních témat k aplikacím, úzce spolupracující s experimenty a přesahující do blízkých oblastí jako astročásticová fyzika nebo kosmologie. Tato podpora se bude vztahovat i na rozvoj vysoce výkonné výpočetní techniky a vývoj programů.*
- Experimenty zabývající se fyzikou těžkých kvarků, měřící dipólové momenty, pátrající po narušení leptonového čísla nebo provádějící jiná přesná měření při nižších energiích, například s neutrony, miony nebo antiprotony, dokáží testovat fundamentální symetrie nebo nepřímo zkoumat vyšší energetické škály než při přímé produkci částic. Mohou být prováděny v národních laboratořích, s menšími týmy fyziků a při nižších nákladech. *Evropské experimenty s unikátním zaměřením budou podporovány, stejně jako účast v podobných experimentech v dalších částech světa.*
- Úspěšné uskutečnění experimentů ve fyzice částic, například při budoucí etapě fungování LHC s vysokou luminozitou, vyžaduje inovativní přístrojové vybavení, nejmodernější infrastruktury a zpracování obrovských objemů dat. *CERN i národní instituty, laboratoře a vysoké školy budou intenzivně podporovat výzkumné a vývojové programy v oblasti detektorů. Je třeba udržovat a dále rozvíjet infrastruktury a konstrukční kapacity pro výzkum, vývoj a stavbu velkých detektorů, stejně jako infrastruktury pro analýzu a zaznamenání dat a jejich distribuované zpracování.*
- Probíhá řada důležitých experimentů bez využití urychlovače na pomezí částicové a astročásticové fyziky, například pátrání po rozpadu protonu, dvojitým rozpadu beta bez neutrin nebo temné hmotě, stejně jako studium kosmického záření nejvyšších energií. Tyto experimenty hledají odpověď na fundamentální otázky za hranicemi standardního modelu fyziky částic. Od roku 2006 probíhá výměna informací mezi CERN a evropským astročásticovým konsorciem ApPEC. *CERN bude v nadcházejících letech usilovat o těsnější spolupráci s ApPEC při výzkumu a vývoji detektorů s cílem zachovat a rozvíjet potenciál částicové komunity pro uskutečnění unikátních projektů v tomto oboru.*

- k. Existuje množství výzkumných témat na hranici mezi částicovou a jadernou fyzikou, jež vyžadují uskutečnění speciálních experimentů. *Je třeba, aby si laboratoř CERN zachovala svoji způsobilost provádět speciální experimenty. CERN bude pokračovat ve spolupráci na předmětech společného zájmu s evropským výborem pro spolupráci v jaderné fyzice NuPPEC.*

Organizační otázky

- l. Budoucí velká experimentální zařízení v Evropě i jinde vyžadují spolupráci na globální úrovni. *CERN poskytne strukturu, v jejímž rámci bude organizován globální projekt urychlovače v Evropě, a bude také vedoucím evropským partnerem v globálních projektech urychlovačů pro částicovou fyziku jinde ve světě. Možné další příspěvky do takových projektů od členských států CERN a asociovaných členů z Evropy budou koordinovány s CERN.*
- m. Byla podepsána dohoda o spolupráci mezi CERN a Evropskou komisí a probíhají různé společné aktivity. Rozhovory s ESFRI (Fórum pro evropskou strategii v oblasti výzkumných infrastruktur) vedly k dohodě o účasti CERN v příslušné pracovní skupině ESFRI. Komunita částicové fyziky se aktivně zapojila do rámcových programů Evropské unie. *CERN a komunita částicové fyziky budou posilovat své vztahy s Evropskou komisí, aby tak dále přispěly k rozvoji Evropského výzkumného prostoru ERA.*

Širší dopady fyziky částic

- n. Nedílnou součástí naší úlohy výzkumníků je zprostředkovat vzrušení z vědeckých objevů i široké veřejnosti. Na tomto úkolu s nadšením pracuje mnoho skupin. Pomáhá jim v tom společenství profesionálů v oblasti komunikace EPPCN a mezinárodní skupina pro popularizaci fyziky částic IPPOG. Podařilo se například přilákat pozornost a vyvolat obrovský zájem veřejnosti po celém světě při spuštění LHC nebo po objevu Higgsova bosonu. *Popularizace a komunikace výsledků fyziky částic si zasluhuje přiměřené financování a musí být považována za jednu z důležitých součástí vědecké aktivity. Jak EPPCN, tak IPPOG budou pravidelně podávat zprávu o své činnosti Radě CERN.*
- o. Znalosti a technologie rozvinuté díky fyzice částic trvale ovlivnily lidskou společnost. Tyto technologie jsou často dále rozvíjeny v jiných oblastech, což přináší užitek

všem zúčastněným. Přenos znalostí a technologií je významně podporován ve většině zemí. Ke koordinaci a rozvíjení těchto aktivit ve prospěch evropského průmyslu byla vytvořena síť HEPTech. *Je žádoucí, aby HEPTech pokračoval ve svých aktivitách s ještě větším úsilím a nadále podával pravidelnou zprávu o činnosti Radě CERN.*

- p. Výzkum v oblasti fyziky částic vyžaduje širokou škálu znalostí a odborností. V CERN, v národních laboratořích nebo na univerzitách získává odpovídající vzdělání mnoho mladých fyziků, inženýrů nebo učitelů. Ti pak předávají to, co se naučili, širší společnosti nebo průmyslu. Vzdělávání a výcvik v používání vyspělých technologií mají zásadní význam i pro potřeby oboru samotného. *CERN společně s organizacemi poskytujícími finance, národními instituty, laboratořemi a vysokými školami budou nadále podporovat a rozvíjet koordinované programy pro vzdělávání a výcvik.*

Závěrečná doporučení

- q. Tento dokument je první aktualizací Evropské strategie pro fyziku částic. Byl sestaven Evropskou skupinou pro strategii za účasti přizvaných zástupců země-kandidáta pro vstup, asociovaných členských států, pozorovatelských států a dalších organizací, a to na základě vědeckých podkladů dodaných přípravnou skupinou. Je nezbytné provádět podobné aktualizace pravidelně, vždy zhruba po pěti letech. *Při aktualizacích je třeba i nadále postupovat podle stejných principů jako v současném případě. Organizační rámec pro zasedání Rady CERN zabývající se evropskou strategií a mechanismus jejího uplatňování a navazujících kroků je třeba upravit s využitím zkušeností získaných v období od roku 2006.*

SLOŽENÍ SKUPINY EVROPSKÉ STRATEGIE

ČLENOVÉ	JMÉNO	ČLENOVÉ	JMÉNO
Členské státy		Generální ředitel CERN	prof. R. Heuer
Belgie	prof. W. Van Doninck	Pozváni	
Bulharsko	prof. L. Litov	Minulý předseda Rady	prof. M. Spiro
Česká republika	prof. J. Chýla	Předsedkyně Rady	prof. A. Zalewska
Dánsko	prof. J.J. Gaardhøje	Významné evropské laboratoře	
Finsko	prof. P. Eerola	CIEMAT	Dr. M. Cerrada
Francie	prof. E. Augé (do 11.2012) prof. J. Martino (od 12.2012)	DESY	prof. J. Mnich
Holandsko	prof. S. De Jong	IRFU	Dr. Ph. Chomaz
Itálie	prof. F. Ferroni	LAL	Dr. A. Stocchi
Maďarsko	prof. P. Levai	Nikhef	prof. F. Linde
Německo	prof. S. Bethke	LNF	Dr. U. Dosselli
Norsko	prof. A. Read	LNGS	prof. S. Ragazzi
Polsko	prof. A. Zalewska (do 12. 2012) prof. J. Królikowski (od 1. 2013)	PSI	prof. L. Rivkin
Portugalsko	prof. G. Barreira	STFC-RAL	prof. J. Womersley
Rakousko	prof. A. H. Hoang	Členové sekretariátu strategie	
Řecko	prof. P. Rapidis	Vědecký tajemník (předseda)	prof. T. Nakada
Slovensko	Dr. L. Šándor	Předseda SPC	prof. F. Zwirner
Spojené království	prof. J. Butterworth	Předseda ECFA	Dr. M. Krammer
Španělsko	prof. F. del Aguila	Za společenství ředitelů lab. EU	Dr. P. Chomaz
Švédsko	prof. B. Åsman	Asistent vědeckého tajemníka	prof. E. Tsesmelis
Švýcarsko	prof. K. Kirch		

PŘIZVÁNÍ	JMÉNO	PŘIZVÁNÍ	JMÉNO
Kandidát členství		Pozorovatelé	
Rumunsko	Dr S. Dita	Ruská federace	prof. A. Bondar
Asociované členské státy		Spojené státy	prof. M. Schochet
Izrael	prof. E. Rabinovici	Turecko	prof. Dr. M. Zeyrek
Srbsko	J. E. velvyslanec U. Zvekcic	EU	Dr R. Lecbychová
Pozorovatelé		ApPEC	Dr S. Katsanevas
Indie	prof. T. Aziz	FALC	prof. Y. Okada
Japonsko	prof. Š. Asai	ESFRI	Dr B. Vierkorn-Rudolph
		NuPECC	prof. A. Bracco
		JINR, Dubna	prof. V. Matveev

SLOŽENÍ PŘÍPRAVNÉ SKUPINY

ČLENOVÉ	JMÉNO	ČLENOVÉ	JMÉNO
Členové sekretariátu strategie		ECFA	
Vědecký tajemník (předseda)	prof. T. Nakada		prof. C. De Clercq
Předseda SPC	prof. F. Zwirner		prof. K. Desch
Předseda ECFA	Dr M. Krammer		prof. K. Huitu
Za společenství ředitelů lab. EU	Dr Ph. Chomaz		prof. A.F. Zarnacki
Asistent vědeckého tajemníka	prof. E. Tsesmelis	CERN	Dr P. Jenni
SPC		Asie/Amerika	
prof. R. Aleksan		Asie	prof. Y. Kuno
prof. P. Braun-Munzinger		Amerika	prof. P. McBride
prof. M. Diemoz			
prof. D. Wark			



Evropská strategie
Aktualizace