

Co je to CERN?

CERN, mezinárodní evropská vědecká instituce, jejíž oficiální "úplný" název zní Evropská organizace pro jaderný výzkum, je **nejrozsáhlejší výzkumné centrum fyziky částic na světě**. (Proto se lze v souvislosti s CERN často setkat s neoficiálním, ale realitě více odpovídajícím označením Evropská laboratoř pro fyziku částic¹).

Za den zrodu organizace CERN lze považovat 29. září 1954, kdy zástupci dvanácti zakládajících členských států ratifikovali Zakládací listinu (*Convention*). V těchto dnech tedy CERN slaví své padesáté narozeniny.

Od doby svého vzniku se tato laboratoř, která byla prvním takovým evropským společným projektem, stala zářným příkladem úspěšné mezinárodní spolupráce. Z původních 12 signatářů dohody o založení CERN vzrostl počet členských zemí postupně na 20. Sedm dalších zemí (mezi nimi Indie, Japonsko, Rusko a USA) má statut pozorovatele a spolupracovníky CERN jsou špičkoví odborníci z mnoha dalších zemí světa.

Jednou z členských zemí je v současnosti i Česká republika. Do CERN vstupovala vlastně nadvakrát - nejprve v roce 1992 jako součást tehdejší ČSFR, potom, o rok později, již jako samostatná země.

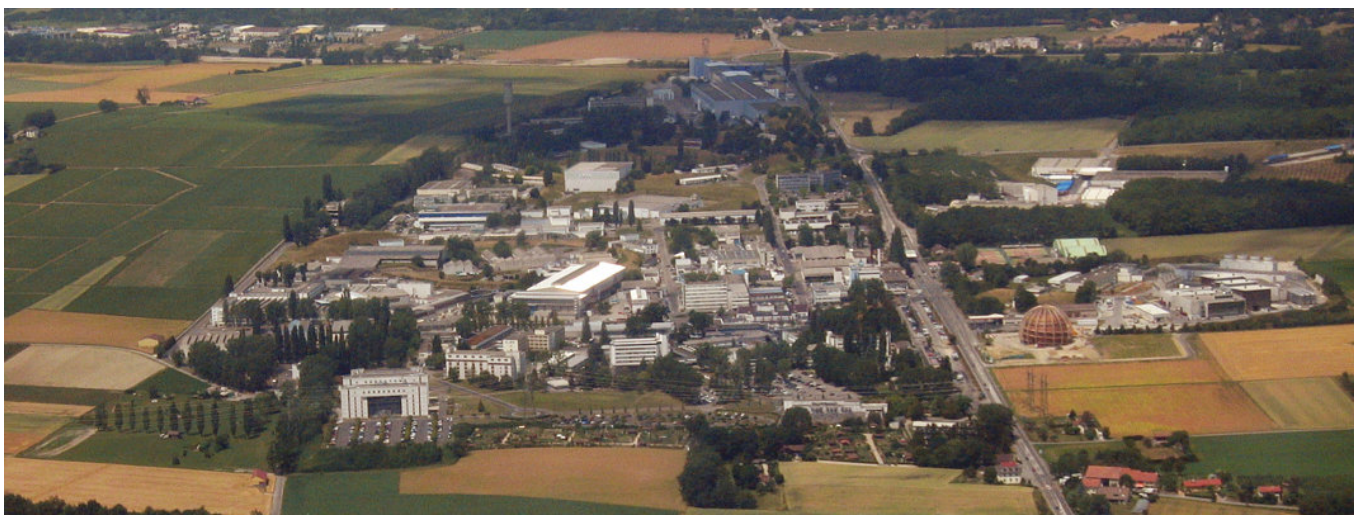
Sur le terrain du futur institut nucléaire



Sous la conduite de M. A. Picot, les membres du Conseil européen pour la recherche nucléaire se sont rendus hier à Meyrin pour reconnaître le terrain où s'élèvera le Centre nucléaire (voir en Dernière heure)
(Photo Freddy Bertrand, Genève)

La Suisse du 30 octobre 1953

Obhlídka místa budoucí laboratoře CERN (1953)



Letecký pohled na hlavní komplex CERN

Laboratoř CERN leží na francouzsko-švýcarské hranici západně od Ženevy na úpatí pohoří Jura. Se zařízeními dostupnými v CERN pracuje okolo 6500 vědců, což je polovina všech fyziků zabývajících se částicemi na světě. Vědci reprezentují na 500 univerzit či jiných odborných pracovištích z více než 80 zemí.

¹ O tom, jak je to vlastně s oficiálními a neoficiálními názvy CERN, se lze dočíst na <http://intranet.cern.ch/User/CERNName/CERNName.html>.

CERN se zabývá čistou vědou, základním výzkumem v oblasti nejmenších struktur v nitru hmoty, na které v současnosti "dohlédneme". Hledají se zde odpovědi na hluboké, i když vlastně přirozené otázky: Co je to hmota? Jak vznikla? Jaké jsou její základní stavební prvky? Co je drží pohromadě? Jak se podílejí na vzniku a uspořádání složitějších věcí v přírodě a celého vesmíru?

Laboratoř zkoumá složení hmoty, ale hraje také důležitou roli při rozvoji technologií budoucnosti. Měření prováděná vědci v CERN jsou důležitým testovacím polem i pro průmysl, mimo jiné proto, že fyzika částic vyžaduje vysokou přesnost provedení všech přístrojů a zavádění nových technologií v nej-různějších oblastech. Díky prvotřídní technické vybavenosti hraje laboratoř CERN důležitou úlohu při výchově a odborném rozvoji nejenom vědců, ale i techniků. Současný rozsah programu odborné přípravy a kvalifikované vedení láká do laboratoře mnoho talentovaných mladých odborníků. Mnozí z nich najdou posléze uplatnění v průmyslu, kde jsou vysoce ceněny jejich zkušenosti s prací v mnohonárodním prostředí.

Co a jak se v CERN zkoumá

Jak jsme řekli, hlavním posláním CERN je základní výzkum s cílem poznat nejmenší stavební kameny našeho světa a zákony, kterými se řídí. Prakticky jedinou **metodou**, jak dokážeme takové věci zkoumat, **jsou srážkové experimenty**. Při nich fyzikové studují **srážky částic** urychlených ve speciálních aparaturách nazývaných **urychlovače**. Informace o srážkách a o částicích, které při těchto srážkách vznikají, se získávají pomocí **detektorů**. Studium záznamů z detektorů a jejich analýzou dokážeme postupně odhalovat, s jakými částicemi máme co do činění, jaké jsou jejich vlastnosti a jaké síly mezi nimi působí.

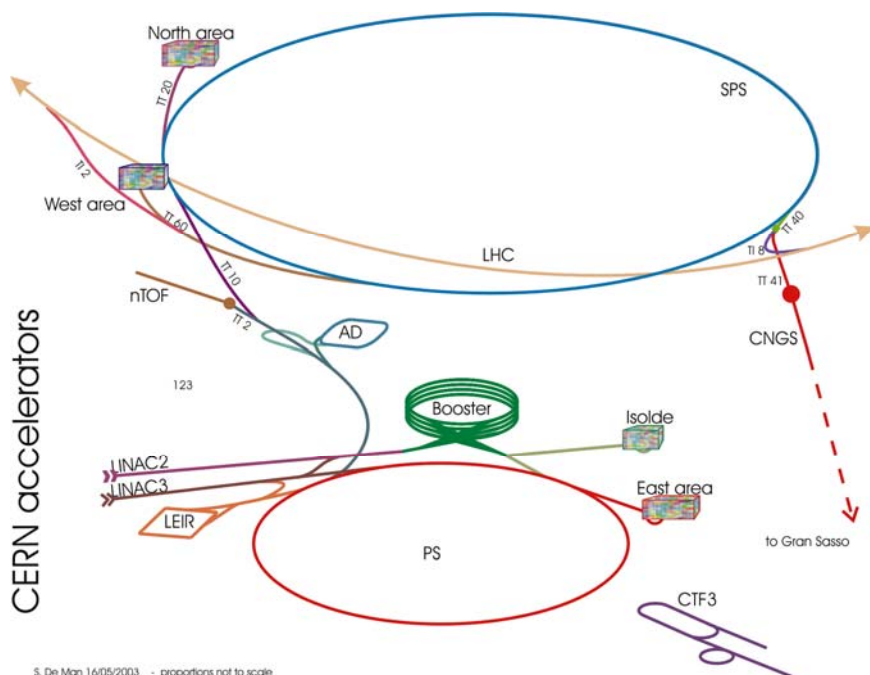


Schéma kaskády urychlovačů v CERN

Experimenty na urychlovačích a zkoumání vlastností částic jsou náplní výzkumu CERN od jeho založení.²

V CERN bylo za 50 let jeho existence uvedeno do provozu několik generací urychlovačů, jež dokázaly urychlovat částice postupně na stále vyšší energie. Co nejvyšší energie jsou potřeba k posunutí hranic našeho poznání. Například, máme-li pozorovat po srážce novou a těžkou částici, musíme mít k dispozici dostatek energie pro její vytvoření. Ve světě částic platí (možná trochu paradoxně), že čím menší částičky hmoty chceme zkoumat, tím vyšší k tomu potřebujeme energie a tedy tím větší experimentální zařízení. To platí nejenom pro urychlovače, ale i pro detektory.

² Proto je také slovo "jaderný" v oficiálním názvu laboratoře, o němž jsme se zmínili na začátku, určitým historicky podmíněným anachronismem - v době zrodu CERN byl výzkum nitra atomu jednoznačně výzkumem "jaderným", výzkum součástí jader - částic - se etabloval jako samostatný obor fyziky až s postupem času. Jaderným výzkumem, jak tento pojem chápeme dnes, se CERN prakticky nezabýval a nezabývá.

Postavit takové aparatury vyžaduje náročné plánování, mnohaleté úsilí velkého počtu spolupracovníků a širokou mezinárodní spolupráci. Experimenty na urychlovačích a detektorech, jež se postupně zvětšovaly a technicky zdokonalovaly, přinesly celou řadu fundamentálních objevů. Nejvýznamnější z nich je patrně objev částic W a Z - tzv. "nosičů" slabých interakcí. Za tento objev získali fyzikové z CERN **Carlo Rubbia** a **Simon Van der Meer** v roce 1984 **Nobelovu cenu**.

Další Nobelovu cenu získal v roce 1992 spolupracovník CERN **Georges Charpak** za vynález *drátové proporcionální komory* - nové a převratné koncepce detektoru, který od roku 1968, kdy byl první typ uveden do provozu, našel uplatnění nejen ve fyzice částic, ale i v lékařské diagnostice, defektoskopii a dalších oborech. Na výzkumném programu CERN se kromě toho podílelo a podílí několik dalších nositelů Nobelových cen za fyziku.



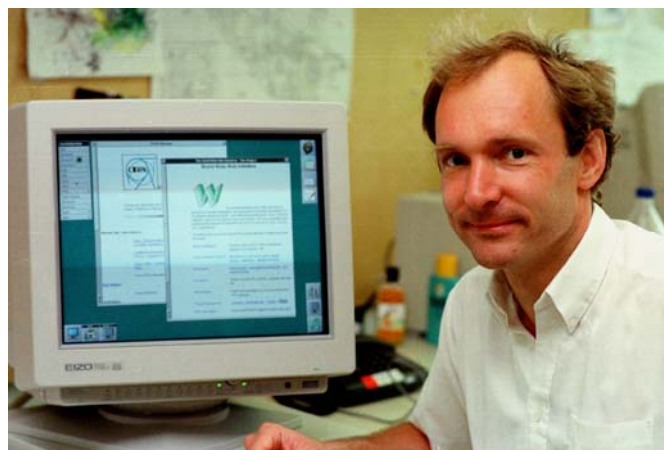
Carlo Rubbia a Simon Van der Meer

Laboratoř vděčí za své výsadní postavení kromě jiného tomu, že využívá největší soustavu propojených urychlovačů na světě - méně výkonné urychlovače fungují jako předstupeň těch výkonnějších. Experimentální aparatury zatím poslední generace, které se v CERN v současnosti budují, jsou spojeny s urychlovačem **LHC (Large Hadron Collider**, česky asi Velký srážecí hadronů; *hadrony* je souhrnný název pro silně interagující částice, mezi něž patří i protony a neutrony - viz následující kapitola). Má tvar prstence o obvodu 27 km a bude umístěn v tunelu přibližně 100 metrů pod zemí, kde dříve úspěšně pracoval urychlovač LEP, který v roce 2000 ukončil činnost.



Bude urychlovat protony na energie, jakých nebylo dosud na žádném urychlovači dosaženo, a přivádět dva vstříčné svazky urychlených protonů kolujících v opačném směru ke srážkám. Částice, které při srážkách vzniknou, budou zaznamenávány detektory umístěnými v obrovských podzemních halách na obvodu urychlovače. Na LHC budou takové detektory čtyři. Velké množství částic vzniklých při nejvyšších energiích vyžaduje, aby detektory, které je mají analyzovat, byly velké a velmi komplikované. Největší z nich, **ATLAS**, bude dosahovat velikosti sedmipatrové budovy, ale ani ostatní (dostaly jména CMS, ALICE a LHCb) nebudou o mnoho menší. Kromě urychlovačů a detektorů je nedílnou součástí moderní částicové laboratoře i výpočetní technika schopná poradit si s gigantickými objemy dat, které je třeba uchovat a zpracovat.

Základní výzkum v oblasti částicové fyziky přináší ovšem i mnoho poznatků, které mají blízko k praktickému použití. Jako příklad lze uvést rozvoj výpočetní techniky a počítačové komunikace – v CERN vznikla „světová síť“ WWW (na fotografii je Tim Berners-Lee, její „vynálezce“), nyní se CERN významně podílí na vývoji systému GRID, který umožní komplikované výpočty efektivně rozdělit mezi mnoho výpočetních center ve světě. Metody částicové fyziky a její detektory se využívají například také v lékařství, např. v moderní diagnostice a léčbě nádorových onemocnění. Významný je příspěvek CERN k vývoji supravodivé techniky a supravodivých magnetů, jakož i špičkové elektroniky. CERN také věnuje značnou pozornost vzdělávání specialistů v nejrůznějších oborech (nejen fyziků) a předávání unikátních technologií do praxe.



Masivní používání pokrokových technologií v CERN znamená také příležitost pro mnoho dodavatelů. Uzavření kontraktu na dodávku nějakého zařízení do CERN, které se podařilo i několika českým podnikům, znamená vítězství v ostré mezinárodní konkurenci.

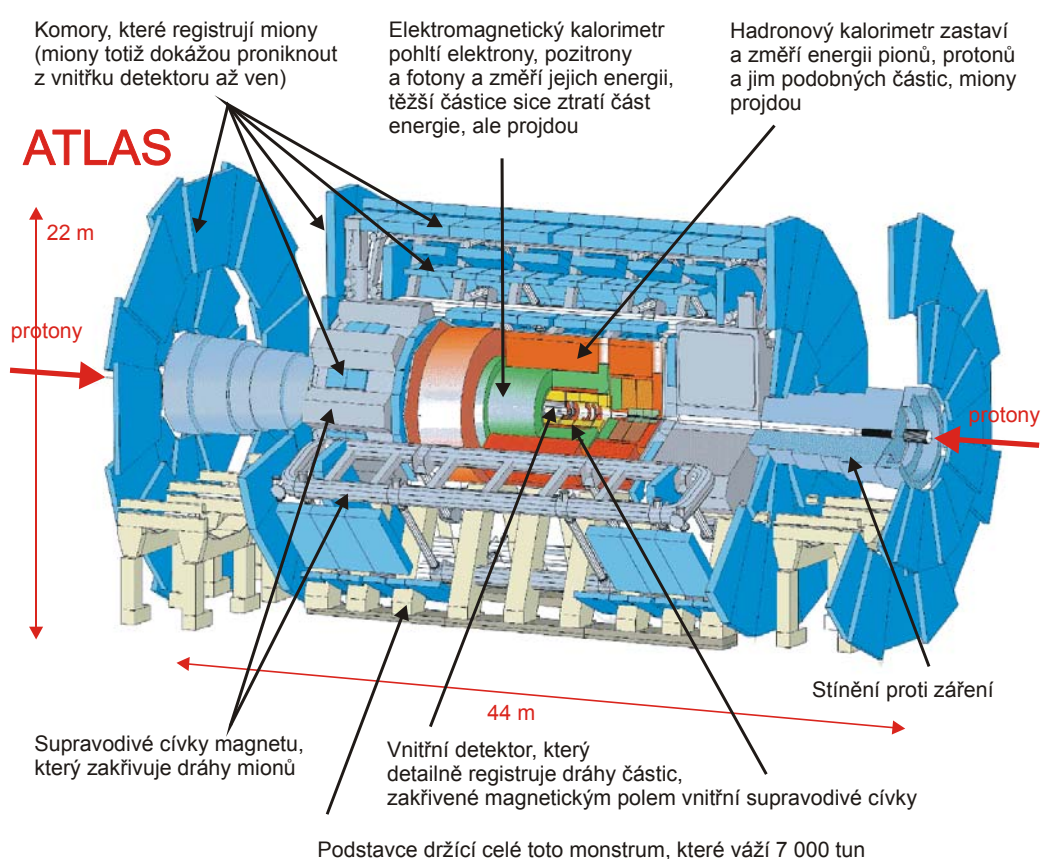
Česká republika je plnoprávným členem CERN

Spolupráce českých fyziků s CERN se datuje od počátku 60. let 20. století, tehdy převážně na úrovni individuálních kontaktů. V 80. letech měla pro českou fyziku částic značný význam účast celého týmu fyziků na experimentu NA4; tehdy to ovšem bylo možné jedině prostřednictvím Spojeného ústavu jaderných výzkumů v Dubně v tehdejší SSSR, oficiální spolupráce tehdejšího Československa s CERN neexistovala. Za podobných podmínek začala česká spolupráce na experimentu další generace – experimentu DELPHI na urychlovači LEP.

Převratnou změnu přinesl rok 1990, v němž byly s CERN navázány oficiální kontakty, a zejména náš vstup do CERN v roce 1992. Čeští fyzikové se začali podílet i na dalších experimentech, a to nikoli jako jednotlivci, ale jako zástupci českých laboratoří (z Akademie věd ČR, různých pracovišť ČVUT, Matematicko-fyzikální fakulty UK a některých dalších), jež se staly oficiálními spoluúčastníky experimentů. Spolupráce dostala institucionální rámec a koordinuje ji **Výbor pro spolupráci ČR s CERN**.



Z chystaných experimentů nejnovější generace na urychlovači LHC se čeští fyzikové podílejí na experimentech ALICE a ATLAS. Experiment ATLAS bude jedním ze dvou (vedle CMS) "velkých" či univerzálních experimentů na LHC. Jeho detektor bude co do rozměrů vůbec největší. Tým experimentu ATLAS je také dosud největší spolupracující skupinou vědců v historii fyzikálního výzkumu, jež kdy chystala společný projekt. Na přípravě experimentu pracuje na 2000 fyziků z více než 150 univerzit a laboratoří ze 34 zemí světa.



Detektor ATLAS bude mohutné zařízení ve tvaru válce o průměru 22 metrů a délce 44 metrů a bude mít hmotnost 7000 tun. Bude umístěno v obrovské podzemní hale a bude zaznamenávat údaje o částicích vznikajících při 800 milionech srážek urychlených protonů za vteřinu.

Tímto způsobem se fyzikové dovídají, jak je uspořádán náš svět na nejzákladnější úrovni – jakými zákony se řídí, z jakých základních "stavebních kamenů" se skládá, jaké mezi nimi působí síly a podobně. Experiment

ATLAS zcela určitě přispěje ke zjasnění a zostření obrazu, který si současná fyzika udělala o světě nejmenších částic a o zákonitostech, které mu vládou. Vědci se při něm ale mohou dočkat i mnohých překvapení, najít dosud neznámé částice a učinit objevy, které povedou k novému a dnes jen stěží tušenému pohledu na náš vesmír.

Vědci z České republiky hrají při přípravě experimentu ATLAS významnou roli. Téměř stovka fyziků a inženýrů z Akademie věd ČR, Českého vysokého učení technického a Univerzity Karlovy se zabývá vývojem, stavbou a testováním několika součástí (tzv. subdetektorů) detektoru ATLAS a také přípravou fyzikálního programu. Významnou roli hraje Česká republika zejména při konstrukci *hadronového kalorimetru TILECAL*, dvou částí vnitřního polovodičového detektoru – *pixelového* a *stripového detektoru* a také *stínění*. Náš vklad do stavby těchto součástí detektoru je významný a komplexní – zahrnuje dodávky důležitých základních komponent českými vědeckými pracovišti a českými průmyslovými firmami, vlastní sestavování a detailní proměřování vlastností ve specializovaných laboratořích, podíl na instalaci v CERN a v budoucnosti i péči o subdetektory a jejich správné fungování během vlastního fyzikálního měření. Čeští vědci tak mají možnost "být při tom" – od počáteční fáze budování experimentu až po konečnou analýzu naměřených dat a jejich fyzikální interpretaci provádět unikátní výzkum na nejvyšší světové úrovni.

Vědci z České republiky se výrazně podílejí i na přípravě **experimentu ALICE**, který je zaměřen na detailní studium srážek těžkých jader, které budou na LHC také dostupné.

Základní stavební kameny světa

Otázky, zda jsou věci okolo nás složené z něčeho jednoduššího, jak takové základní stavební "cihly" vypadají a jaké jsou jejich vlastnosti, zajímá lidstvo odnepaměti. V současnosti hledá odpověď na tyto otázky fyzika elementárních částic³.

Současný pohled na nejzákladnější uspořádání světa, ke kterému dospěli fyzikové po několika desítkách let experimentování se srážkami částic na urychlovačích při stále vyšších energiích a usilovného snažení teoretiků, vypadá takto:

Základními stavebními kameny hmoty jsou **leptony a kvarky**. Pokud je nám dnes známo, tyto objekty se neskládají z ničeho ještě menšího. Mezi leptony patří třeba elektron, kvarky jsou poněkud exotické částice, z nichž se skládají "obyčejné" částice v atomovém jádru – proton a neutron. Na částice působí vedle gravitace tři další druhy základních sil (či, jak říkáme, **interakcí**) – elektromagnetická, slabá a silná. Leptony jsou částice, které "necítí" silnou interakci, na kvarky působí všechny tři typy základních interakcí. V částicové fyzice je možné zatím na gravitaci zapomenout, protože v oblasti energií a hmotností, o jaké je řeč, je nesmírně slabá. Zbývající tři základní interakce jsou podle současných teoretických představ zprostředkovány dalším typem základních částic, tzv. vektorovými bosony. Elektromagnetickou interakci zprostředkovává **foton**, silnou **gluony** a slabou **intermediální vektorové bosony W a Z**. Každou z těchto tří interakcí umíme popsat matematickým jazykem, který vychází ze shodných principů. Tento obraz světa, leptony a kvarky jako základní částice hmoty a síly mezi nimi popsané prostřednictvím vektorových bosonů, bývá zvykem označovat jako **standardní model**.

Standardní model byl zformulován na počátku 70. let 20. století a následující čtvrtstoletí experimentů neukázalo nic, co by s ním bylo v rozporu. To je nepochybně fantastický úspěch této teoretické konstrukce, ale neznamená to, že fyzikové došli na konec cesty. Především, v celé stavbě je stále ještě jeden důležitý chybějící článek. Souvisí s otázkou, proč mají základní částice nenulovou klidovou hmotnost a proč jsou hmotnosti částic právě takové, jaké pozorujeme. Jasně do této otázky by vnesl objev tzv. **Higgsova bosonu**, jehož existenci standardní model předpovídá a po němž fyzikové dosud bezvysledně pátrají. Jednou z možností neúspěchu dosavadního hledání je jeho velká hmotnost, pro dosavadní experimenty nedostupná. Pro budoucí experimenty v CERN, při nichž se budou zkoumat srážky částic při dnes nedosažitelných energiích, je hledání Higgsova bosonu výzva.

Je možné i to, že fyzikové najdou na urychlovači LHC něco, co bude standardní model jasně a zřetelně překračovat – nové částice, pro které není v dosavadním schématu místo, možná i nové interakce. Už nejjednodušší varianta obecnější teorie, která se pokouší sjednotit námi zmiňované tři interakce, takové věci předpovídá. A což teprve, když se fyzikové pokoušejí zahrnout do jednotného popisu mikrosvěta i gravitaci!

Otevírá se celá plejáda nových a exotických možností, ale objevují se i další nezodpovězené otázky. Podle výsledků současných experimentů je až 95% hmoty a energie ve vesmíru "něco jiného" nežli částice, které známe. Co tvoří tuto temnou hmotu? Dosud neznámé částice? Můžeme je pozorovat na nových urychlovačích? Proč není ve vesmíru stejně hmoty, jako antihmoty? A co "skryté" vyšší dimenze našeho vesmíru, o nichž dnes spekulují teoretičtí fyzikové?

Nejslibnější z cest, jak najít na tyto a další otázky odpovědi, je srážet částice při dostatečně vysokých energiích a zkoumat, co vznikne.

Experimenty na urychlovači LHC jsou pro takové pátrání vynikajícím nástrojem. Ještě nevíme, co přesně nám prozradí, ale můžeme si být jisti, že to budou vzrušující a překvapivé poznatky. Až experimenty skončí, budeme toho vědět o našem světě víc.

³ Které se dnes často říká jen *částicové fyzika* nebo také *fyzika vysokých energií*.