

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

L. Lederman

Sjednocení, velké sjednocení a jednota fyziky (1986 Richtmyerova přednáška pro rok 1986)

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 34 (1989), No. 1, 12--27

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137834>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1989

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>

Sjednocení, velké sjednocení a jednota fyziky

(Richtmyerova přednáška pro rok 1986)

L. Lederman, Batavia, Illinois, USA

I. Úvod

Jsem hluboce poctěn, že jsem byl vybrán, abych přednesl Richtmyerovu pamětní přednášku pro rok 1986 (ačkoliv tento pocit mírně zeslábl, když jsem zjistil, že jsem v pořadí již 45. — proč čekali tak dlouho?!). Když potěšení, které podobné uznání přináší, opadlo, vystřídala ho obvyklá panika — o čem hovořit? O vyučování? V případě této přednášky jde přece o podnik AAPT*) a v průběhu 30 let, kdy jsem stával před studenty, jsem se snad něčemu naučil, ne? O výzkumu? Ne, asi bych začal plakat. Mých 56 úspěšných aspirantů — to ještě více nutí k pláči. O administrativě? Konec konců, to bylo mé zaměstnání v posledních sedmi letech. Ale ta je nedostatečně efektním tématem. Když jsem si nakonec vzpomněl, že F. K. Richtmyer byl ve fyzikálních společnostech osobností velmi iniciativní a synteticky založenou, rozhodl jsem se hovořit na téma jednoty fyziky. To mi poslouží jako vůdčí idea pro specifitější, ale také exotičtější snahy o sjednocení přírodních sil. Budu se snažit ukázat, že se oba tyto významy slova „jednota“ nevylučují.

Všeobecně lze zaznamenat, že fyzikální obory jsou stále specializovanější a zdá se, že tyto specializace jsou s postupem času stále exotičtější a navzájem vzdálenější. Navzdory tomu cítím potřebu znovu přehodnotit síly, intelektuální a sociální, které nás k sobě přitahují. Dovolte mi tuto věc objasnit podrobněji.

Někteří z vás již možná slyšeli o SSC — Superconducting Super Collider**). Nepodléhejte prosím panice, nechystám se požádat výběrčí, aby k vám přistoupili se svými pokladničkami.

Avšak SSC je vize, sen (někdo snad řekne i noční můra) mých kolegů v oblasti fyziky vysokých energií, sen, od kterého si slibují pokrok ve svém oboru. Parametry SSC jsou dány tím, co brání dalšímu pokroku. Jak jste již pravděpodobně mohli slyšet — SSC je mimořádně nákladný podnik. A protože jeden velký projekt zjevně ohrožuje financování jiných, mnoho z nás vyrazilo na cesty s cílem projekt SSC objasňovat i vědecky zdůvod-

*) AAPT — American Association of Physics Teachers (Americké sdružení učitelů fyziky) — pozn. překl.

***) SSC — Superconducting Super Collider (Supravodivé superzařízení se vstřícnými svazky), projekt obřího urychlovače částic využívajícího supravodivých magnetů; podle posledních informací byl projekt americkou legislativou i vládní exekutivou schválen a doporučen k realizaci. Viz též článek J. FORMÁNKA *Urychlovače a collider* v PMFA 32 (1987), 66—77 — pozn. překl.

Z anglického originálu L. LEDERMAN: *1986 Richtmyer Lecture: Unification, grand unification, and the unity of physics*, uveřejněného v červenci 1986 v časopise American Journal of Physics (sv. 54, č. 7, str. 594—600) s laskavým svolením autora i vydavatele přeložil a vysvětlivkami pod čarou opatřil ZDENĚK URBAN.

© 1986 American Association of Physics Teachers

nit. Objasňovat komukoliv, kdo by projevil ochotu poslouchat, ale zvláště našim kolegům v jiných oblastech fyziky a přírodních věd. Mnohokrát jsem v pozdním odpolední šel dlouhým letištním koridorem obtěžkán dvěma kufříky plnými diapozitivů a fólií o SSC, hotový to obraz Willyho Lomana*)!

Takto vznikala živá debata a výměna názorů, o které věřím, že je nebo že může být užitečná pro celou fyziku.

Právě ze snahy „prodat“ SSC kolegům v jiných oblastech fyziky vyplynula nutnost postupně se trochu seznámit s tím, co kolegové v jiných oborech dělají a jaké jsou jejich problémy. Tím se mi v mysli vynořily některé základní otázky: Proč existují katedry fyziky — proč existuje APS**) nebo AAPT? Co mají různé fyzikální obory společného? Jaké jsou mezi nimi souvislosti? A právě o výsledcích těchto úvah k vám chci nyní hovořit.

II. Síly, které nás rozdělují

Existuje celá řada důvodů, proč chci rozebírat toto téma právě nyní. Jeden z nich je v podstatě politický — v tom smyslu, že se na nás útočí ... a v takových dobách obvykle hledáme přátele, rodinu, spojence, jiné spřízněné skupiny, abychom se spojili do jednoho šiku. Dále, v mé vlastní oblasti — fyzice vysokých energií — je sjednocení jakýmsi všudypřítomným domácím průmyslem produkujícím 99,44% teoretických prací v současnosti publikovaných. Konečně, čas od času se opakuje téma vědců-filozofů (např. J. Bronowski***) a A. Weinberg) o jednotě oboru a jeho vlivu na jiné obory a naopak o jeho ovlivňování zvenčí — je mírou kvality vědy. Sjednocená věda, věda v níž různé části navzájem souvisejí, jsou navzájem slučitelné a navzájem se osvětlují — je nějak radostnější, mohutnější a krásnější. A to se zpětně odráží na fyzice, která je ve skutečnosti hledáním jednoty: Od samotných počátků bylo úkolem fyziky hledání jednoty, skryté pod nekonečnou různorodostí přírodních jevů.

V poslední zprávě Národní akademie věd o fyzice (Brinkmanova zpráva) se rozeznává šest částí fyziky: fyzika částic; jaderná fyzika; fyzika kondenzovaných látek; atomová, molekulární a optická fyzika; fyzika plazmatu; kosmologie a gravitace.

Každá z těchto oblastí má své speciální konference, své časopisy, své mechanismy financování ve Washingtonu. Každá z oblastí má své vymezené kursy na univerzitách i postgraduálních školách. V rámci každé jsou psány speciální knihy. Konflikty se vynořují několika způsoby — uvnitř univerzitních kateder nepochybně existuje věčný konflikt týkající se přijímání nových členů sboru: „Potřebujeme dalšího odborníka v axiomatické teorii pole,“ říká profesor A. „Odborníka v axiomatické teorii pole potřebujeme asi jako díru v hlavě,“ zní kousavá odpověď profesora B.

*) Willy Loman — hlavní postava dramatu ARTHURA MILLERA *Smrt obchodního cestujícího*. L. LEDERMAN touto personifikací zdůrazňuje skutečnost, že ideu SSC bylo nutno „prodávat“ — pozn. překl.

***) APS — American Physical Society (Americká fyzikální společnost) — pozn. překl.

***)) Vynikající knížku J. BRONOWSKÉHO *Vzestup člověka* u nás nedávno vydalo nakl. Odeon — pozn. překl.

Ve financování výzkumu je otázkou, kdo co získá a proč, přičemž konflikty se zesilují zvláště v hubených letech. Když už hovořím o hubených letech, nemohu si pomoci a musím se zmínit o Grammově-Rudmanově zákonu*) (bez osobní urážky jeho iniciátorů), neboť ten může mít devastující vliv na fyziku — a vlastně na všechny přírodní vědy — bez ohledu na úvahy o dlouhodobém blahobytu národa. V budoucích výkladech občanské nauky nebo společenských věd jsou tito pánové — bez ohledu na jejich skutečný přínos — určeni zapadnout do historie a následovat tak Hawleyho-Smoota, Tafta-Hartleyho a snad dokonce také Simpsona-Mazzoliho**).

V našem oboru vznikají i další konflikty, a to velká věda versus malá věda, aplikovaná fyzika versus základní (čistý) výzkum. V jednom palebném postavení se tak ocitají podivní partneři. Kosmologové a částicovní fyzikové ve spojení s kočovnými oceánografy vytvářejí příležitostné aliance proti atomovým fyzikům, kteří sdílejí společná stanoviska s chemiky.

Záběr našeho oboru je obrovský, pokrývá vzdálenosti od 10^{-32} do 10^{25} cm, časy od 10^{-43} s až po 10^{32} let, a zahrnuje kvalitativní pozorování i měření neuvěřitelné přesnosti. Jeden kolega provádí svůj experiment na stole, zatímco druhý putuje k obřím urychlovačům a k sítím teleskopů. Známe osamělého teoretika, který prodlévá ve své pracovně ve tři hodiny ráno, i skupinu sta vědců spolupracujících na rozsáhlém experimentu s využitím urychlovače, ke kterému musí cestovat „přátelskými nebesy“. Dále jsou zde věci, které dělají teoretikové, a věci, které dělají experimentátoři — jejich odlišná sociologie i jazyk by mohly budit zdání nepřekonatelné propasti. První uvažují topologické solitony, zatímco druzí pájejí vodivostně spojená zařízení. Při pohledu na to vše si člověk může položit otázku, zda existuje dost vzájemných vazeb, které by z nás vytvářely společenství a dovolovaly by nám pociťovat radost z úspěchů našich kolegů v jiných oborech jako z příspěvků k duchovním hodnotám a životaschopnosti nás všech.

III. Síly, které nás spojují

Kde najít pojivo, při všech těchto rozdělovacích silách? Jaké jsou stmelující elementy? Domnívám se, že je můžeme rozdělit do několika tematických skupin:

(a) „Společné svatostánky a společní hrdinové“ — naše společné dědictví.

(b) Společný myšlenkový a duchovní postoj.

*) Grammův-Rudmanův zákon (někdy také Grammův-Rudmanův-Hollingsův zákon) předepisuje povinné každoroční snižování stropu rozpočtového deficitu vlády Spojených států; mnozí pozorovatelé soudí, že nekompromisní uplatňování zákona povede mj. k omezení rozpočtových výdajů na vědu, školství a kulturu s fatálními dlouhodobými důsledky. — pozn. překl.

**) Ve Spojených státech existuje tradice označovat zákony jmény jejich hlavních iniciátorů. Uvedené příklady demonstrují „dobře myšlené“ zákony, jejichž uplatňování vedlo v delším období k negativním důsledkům podstatně převažujícím nad počátečními klady. Hawleyův-Smootův zákon zahájil ve dvacátých letech válku o celní sazby, Taftův-Hartleyův zákon z konce čtyřicátých let měl silný protiodborový charakter, zákon Simpsona-Mazzoliho ze začátku osmdesátých let se týká (otázka tohoto zákona doposud není dořešena) přistěhovalectví. L. Lederman měl kromě pochybného užítka zákonů na mysli zachování rytmu dvou autorů (ačkoliv Grammův-Rudmanův zákon je někdy uváděn se třemi autory) — pozn. překl.

- (c) Neustále se vynořující spojovací články mezi obory, články, které, jak se zdá, nás vždy překvapí; jsou však nesmírně plodné. Postupují všemi směry; jsou to sdílené myšlenky.
- (d) Společně sdílené a vypůjčené nebo pokradmu získané techniky, přístroje a matematické metody.

A. Společné dědictví

Naše dědictví začíná Řeky. Zde bych rád využil Feynmanových slov: Fyzikova historie není historií, je „zkonvencionalizovaným mýtickým příběhem“. Úkol pro naši současnou generaci fyziků byl explicitně zformulován již tzv. milétskou školou, jejíž počátky jsou kladeny do doby kolem r. 650 př. n. l. Iónii Řekové kolonizovali někdy kolem r. 900 př. n. l. Milétos, jedno z iónských měst na západním pobřeží území, které dnes patří Turecku, město omývané vodami Egejského moře, oplýval kvasem filozofické, literární a umělecké činnosti. Existuje hodně dokladů oprávnujících závěr, že přechod od magie a rituálu k mytologii a nakonec k vědě byl ve skutečnosti pozvolným procesem. Věda ve skutečnosti nikdy nebyla zcela prosta mýtu a tajemství — ty se objevují znovu a znovu, dokonce u nejproduktivnějších škol a osobností — od Pytagora ke Keplerovi, Newtonovi, i ke géniovi 19. století Hamiltonovi. Nicméně v Milétu 7. století př. n. l. je pocífována dosti ostrá diskontinuita. Připomeňme si, že šlo o úsvit teoretické přírodní vědy; klenoty moudrosti byly ještě zastřeny vrstvami mystických nánosů. Když však tyto klenoty byly pozdějšími učenici nalezeny a „vyleštěny“, poskytly vazby, které hledáme. Je-li věda charakterizována systematickým pozitivním poznáním a aktivním hledáním syntézy, pak její počátek byl v Milétu. V Milétu byly vysloveny dvě obecné filozofické myšlenky: (1) Vesmír je přístupný racionálnímu zkoumání a je potenciálně objasnitelný „všedním poznáním“ a (2) je nutné hledat fundamentální prvotní složky (prvky), ze kterých se ve své nekonečné různorodosti skládají věci našeho světa. Tento důraz Řeků na úspěšnost, vyjádřený v přesvědčení, že konečné vysvětlení fyzikálního vesmíru a přírody musí být jednoduché, je dodnes pro fyziku plodným vodítkem. To je počátek našeho dědictví — první záznam v rodokmenu fyziky.

Démokritos projevil zdravý optimismus moderního částicového fyzika svým tvrzením, že vesmír složený jen z atomů a z prázdného prostoru, ve kterém se atomy pohybují, nemůže být příliš těžké pochopit. Atomy jsou mimořádně malé a nedělitelné. Vytvářejí všechny věci, které pozorujeme.

Jak bylo pro jeho dobu typické, Démokritos byl také kosmologem a jeho kosmologie, jeho názor na uspořádání nebes a postavení Země (v těch zlomcích jeho spisů, které se zachovaly) představuje vzepětí představivosti tak daleko za jeho schopnost pozorovat, tak daleko za rozhled jeho omezenějších kolegů, že se podobá pouze snahám současných teoretiků tzv. strun*), kteří budují své teorie platné na úrovni Planckovy hmotnosti —

*) Teorie strun (string theories) významně korigují současnou koncepci polí, částic a prostoročasu, zjednodušeně řečeno částice nejsou bezstrukturní bodové objekty, ale objekty jednorozměrné — struny. Hlavní odlišnosti těchto teorií se projevují při energiích asi 10^{19} GeV, tj. na úrovni Planckovy energie — pozn. překl.

pouhých 16 řádů za již neskutečným světem vytvářeným na urychlovači ve Fermilabu*).

Myslím, že téměř nebude spor o jménech, která by měla být vytesána v podobě figurálních vlysů kolem chrámu fyziky. Po Koperníkovi, Galileovi, Braheovi, Keplerovi a Newtonovi by to snad měli být elektromagnetici Coulomb, Ampère, Oersted a Faraday — ten obzvláště; pak optici Young a Fresnel a nato velký syntetik Maxwell. Pro úplnost bychom měli přidat Joulea, Kelvina, Bernoulliho, Clausia, Boltzmana a znovu Maxwella. Potud bychom jistě všichni souhlasili. Pak bychom všichni vyžadovali Einsteina, přestože bychom se asi lišili v tom, který z jeho příspěvků byl nejpřednější. Významné však je, zda revoluce, kterou vyvolal o pojmech prostoru a času, je bezvýznamná pro vědce zabývajícího se například vlastnostmi krystalů.

Dvacáté století mělo i další velkou revoluci, a všichni, kdo pracují ve fyzice, chemii a v molekulární biologii, uznávají za její původce: Thomsona, Millikana, Chadwicka, Rutherforda, Bohra, Heisenberga, Schrödingera, Pauliho a Diraca (samozřejmě, že jsem řadu jmen vynechal!). Před kvantovou mechanikou byla fyzika poměrně málo specializovaná a právě s aplikacemi kvantové mechaniky se počínají rýsovat počátky takového rozdělení fyziky, jak je uvádí Brinkmanova zpráva. Kvantová mechanika mnoho objasnila, ale také dala vznik mnoha fyzikálním oborům, které jsme výše jmenovali.

Naši hrdinové stále provozují vědu v učebnicovém klasickém duchu a způsobu: jsou hnáni zvědavostí, motivováni touhou porozumět a povzbuzováni vírou v základní jednotu a jednoduchost. Jsou si však vědomi — a my, kteří k nim vzhlížíme s úctou, také —, že z práce Faradaye a jeho následovníků vzešel elektrotechnický průmysl a z práce Maxwella a Hertze průmysl spojí a sdělovací techniky. Tyto práce zvěstovaly nové skutečnosti v civilizaci — nástup technologie založené na vědě. Vynález nebyl (a není) zdaleka mrtev, nicméně ti vynálezci (jako např. Orville a Wilbur Wrightovi), kteří uměli zacházet s diferenciálními rovnicemi sil a pohybu, byli zjevně v čele.

Aplikace objevu kvantové mechaniky pak vedly ke vzniku moderních fyzikálních oborů. Ostatně průmyslová odvětví a technologie založené na těchto vědách jsou významnou částí našeho hrubého národního produktu dosahujícího téměř 4 biliónů dolarů. To je důležité si uvědomit, kdykoli jste obviňováni, že žijete na veřejné útraty, přispíváte k deficitu rozpočtu nebo že hledáte „kde může něco kápnout“. (Otázkou je, jak dlouho ještě budeme moci těžit z objevu kvantové mechaniky; poněvadž však tento obor byl dovršen zhruba v roce 1940, pochybuji, že jsme již nyní ve skutečných potížích.)

Ovšem ti z nás, kdo pracují v „čistém“ výzkumu, mnoho dluží skutečným praktikům, kteří aplikovali výsledky základního výzkumu na atomy a molekuly, polovodiče a kovy, supravodiče, masery a lasery, chemické procesy a na atomová jádra, např. Bardeenovi a Brattainovi, Cooperovi a Schriefferovi, Mathiasovi, Purcellovi a Blochovi, Lambovi a Townesovi, Rabimu, Betheovi atd. Vyzvedněme jejich jména do výše!

Takový je neúplný seznam našich hrdinů. Když se dívám přes jedno rameno, vidím obrovskou odpovědnost být hoden Maxwella a Einsteina i Bohra — přes druhé rameno vidím Gramma a Rudmana: naplňuje to hrůzu.

* Fermilab — Fermi National Accelerator Laboratory (Fermiho národní urychlovačová laboratoř) v Batavii nedaleko Chicaga (Illinois) — pozn. překl.

Jak uvidíme, jsou i jiní hrdinové, kteří patří nám všem, ačkoliv to nemusí být zřejmé (čím jsme blíže současnosti, tím je to méně zřejmé): Feynman (určitě) a Schwinger, Tomonaga a Dyson, kteří završili aplikaci nové teorie na elektrony a fotony, Hubble, Gamow a Friedmann, ale také Gell-Mann, Lee a Yang, a – jak věřím – také skupina mladých jmen, která budou dobře známa dětem našich dětí.

B. Společné postoje

Všichni se učíme a předpokládám, že také všichni učíme své studenty myšlenkovému a duchovnímu postoji, že mnoho z toho, co děláme (jak jsem již řekl) je hnáno zvědavostí, motivováno absolutní touhou porozumět, inspirováno hluboce zakořeněnou vírou v skrytou základní jednoduchost a jednotu. Důležitou univerzální součástí fyzikova postoje je skepticismus vůči autoritě toho, co je „zavedeno“, a skepticismus vůči těm, kdo to „zavedli“. Můžeme to nazvat arogancí nebo genetickou zkušeností o klamnosti momentálního dogmatu. V každém dobrém fyzikovi číhá revolucionář ochotný vrhat bomby (to je metafora!). Všichni víme, že fyzika je hledáním pravdy, vytvářením mechanismů, které rychle nahrazují nepravdivé pravdivým nebo přinejmenším méně nepravdivým. Myslím, že to platí jak v laboratořích aplikované fyziky, tak i v základním výzkumu, jak ve velké, tak i v malé vědě, v teorii i experimentu, protože koneckončů tato činnost má jméno – nazývá se vědecká metoda. Na tomto místě je vhodné promluvit o vztahu velkého vůči malému, čistého vůči aplikovanému.

Velká věda? To jsou kolegové, kteří se rozhodli sdružit své zdroje ve snaze pokročit dále ve svém oboru. Sociologie velké vědy je strašná, dovolte mi však říci toto: Existuje všeobecné chybné chápání pedagogického a intelektuálního dopadu velkých skupin. Nemám dost času, abych se o tom rozhovořil, ale podrobné studium by ukázalo překvapivě podobný soubor zkušeností členů velkých a malých skupin. Ve správně vedené velké skupině se technické možnosti, intelektuální výzva a pocit děláni fyziky vyrovnají všemu, co mladý badatel může najít ve vědě. Přesun k velikosti, který byl pravděpodobně zahájen astronomy, je realitou vědeckého života: na fyziky vysokých energií se tlačí jaderní fyzikové, kteří potřebují velká elektronová zařízení a urychlovače těžkých iontů, vědci zkoumající materiály s nároky na ještě mohutnější zdroje synchrotronového záření a generátory vysokých tlaků, výzkum termonukleární syntézy s tokamaky atd. Centralizaci nákladných zařízení však musíme provádět citlivě, aby zůstal zachován základní duch individuality, který pěstujeme. Není čas na lomení rukou nebo ohrnování rtů – myslíme!

Fyzika se dělí na „čistou“ a „aplikovanou“ v rámci spektra, které připouští další upřesnění: abstraktní a exotická, téměř čistá, ne příliš aplikovaná, až k technickému „R & D“^{*}). Právě v oblasti aplikací vzniká pochopení, které vede k děláni věcí asi velmi užitečných a obzvláště zlepšujících materiální kvality lidského života. (Obsah toho, co se jeví jako abstraktní, vzdálené od každodenních zájmů, se s časem mění. Dnes jsou to kvarky a černé díry, před 150 lety to byla elektřina.)

Odlišnost mezi základní a aplikovanou fyzikou je důležitá, a to v rámci veřejného

^{*}) „R & D“ = Research and Development (výzkum a vývoj) — pozn. překl.

vyhodnocování potenciálu pro sociální změny i v rámci vědecké politiky a plánování; neměla by však být zveličována. Výzkumná laboratoř, ať se věnuje exotičnostem částicové fyziky, nebo zkoumání nových materiálů pro kosmické rakety, vyhlíží i „voní“ přibližně stejně. Na lidské úrovni, každodenní řešení problémů, výtrysk příležitostného poznání nebo nesnáze opakujících se neúspěchů — to vše jsou společné rysy intelektuálního „zasnoubení se“ s prací. To, že jsme „doma“ v laboratoři nebo před tabulí kteréhokoli z nás, je důsledkem dědictví, které společně sdílíme. V tom je naše jednota. A abychom vyloučili postoje typu „světější než ty“, poznamenáváme, že základní fyzika zahrnuje věci dalekosáhlé, např. hledání nestability protonu, ale také mnoho rutinního, např. přesnější měření hmotnosti nějaké rezonance. Podobně aplikovaná fyzika zahrnuje výzkum podstaty povrchů, ale také vývoj digitálních kartáčků na zuby. Konečně, jak uvidíme později, vždy se najde „čistý“ výzkumník, který narazí na něco užitečného a „aplikovaný“ pracovník, který křepčí nad něčím velmi dalekosáhlým. Stává se to stále.

C. Myšlenky

Nyní bych chtěl načrtnout několik málo dnes existujících vazeb mezi obory, v žádném případě však ne jejich úplný seznam.

(1) Studium nepružného rozptylu vysokoenergetických mionových svazků na jádrech vedlo před několika lety k překvapujícímu výsledku, že v těžších jádrech může být pozorován efekt kvarků zjevně uvolněných z lokálního uvěznění*). Tato nová oblast jaderného výzkumu naznačuje trojitou vazbu, naději, že při relativistických srážkách těžkých iontů se může vytvořit nový stav hmoty: kvarkové-gluonové plazma, což by vázalo dohromady tři naše obory, a to pojitky pojmovými i experimentálními.

(2) Jiná taková trojnásobná vazba souvisí se snahami astrofyziky určit prvotní výskyt lehkých prvků: H, He, D₂, Li atd. ..., což je klíčové pro kosmologii velkého třesku. Bez jaderné fyziky a fyziky plazmatu by tato oblast nikdy nemohla hrát takovou roli v porozumění, jak jsme se zde ocitli.

(3) Fyzika kondenzovaných látek dává a přijímá ode všech dalších fyzikálních disciplín. Pokrok v chápání a vývoji supravodivých materiálů umožnil vytvořit supravodivý Tevatron ve Fermilabu**) a je základem nadějí pro vybudování SSC.

Vlastnosti materiálů při fázových přechodech vedly k metodě nazývané „renormalizační grupa“, kterou jsme si vypůjčili z teoretické fyziky částic. Stejně metody se používá k popisu kritických jevů všeho druhu včetně chemie polymerů. Vytesejme proto na chrám fyziky jméno Kennetha Wilsona***).

*) V rámci kvarkového modelu se předpokládá, že kvarky mohou existovat pouze ve vázaném stavu uvnitř hadronů a nikoli samostatně, volně; tento předpoklad je označován jako lokální uvěznění kvarků (local confinement). Předpoklad byl postulován pro dnešní, relativně již chladný vesmír — pozn. překl.

**) Tevatron — jeden z nejvýkonnějších urychlovačů na světě; v něm jsou využívány supravodivé magnety — pozn. překl.

***) Viz překlad článku K. WILSONA v PMFA 31 (1986), 1—34, *Fyzikální problémy s mnoha délkovými škálami*; resp. také překlad článku N. N. BOGOLJUBOVA a D. V. ŠIRKOVA: *Renormalizační grupa? To je velmi jednoduché*, PMFA 32 (1987), 251—266.

Nejvíce fascinuje skutečnost, že relativistická kvantová teorie pole Feynmana, Schwingera a jejich přátel byla přesně použitelná k nerelativistickým mnohočásticovým problémům interagujících atomů, elektronů a fononů v pevných látkách a kapalinách. Feynmanovy diagramy jsou známým jevem na tabulích kursů fyziky kondenzovaných látek.

(4) A zde leží opravdu klíčový prvek mého výkladu: z analogie fázových přechodů mezi fyzikou částic a teorií i experimentem fyziky kondenzovaných látek se vynořuje poznání, že jako daný systém ve statistické mechanice může existovat ve dvou nebo více fázích s velmi odlišnými vlastnostmi, tak i kalibrační teorie fundamentálních sil mohou existovat v různých fázích. To vedlo k možnosti pochopit nejen proč existují čtyři síly, ale také jak tyto síly „vykrytalizovaly“ z jedné „ultra-sjednocené“ prasíly v procesech, které musíme modelovat, abychom porozuměli vývoji vesmíru v průběhu velkého třesku a po něm. Z této trojnásobné vazby může vzejít pochopení hmotností kvarků a leptonů, tj. tzv. Higgsových jevů*). Více o tom později. Nicméně, vytesejme tam nahoru jména Lva Landaua a Phillipa Andersona.

(5) Nastává exploze zájmu o vztah mezi chaotickým a uspořádaným pohybem. Náhlé přechody od uspořádaného k chaotickému pohybu byly objeveny v elektrických, akustických a optických systémech, v hydrodynamice, v chemických reakcích a také v chování jednoduchých diferenciálních rovnic. Poznání univerzální povahy takových přechodů dává naději, že porozumíme chaotickému pohybu v komplexnějších systémech, a konkrétně, že porozumíme turbulenci.

Uvedené body zdaleka nejsou úplným výčtem. Kamkoli pohlédnete, najdete spojitosti a užitečné analogie: společně sdílené matematické metody a výpočetní postupy; převzaté klíčové pojmy i klíčové zkušenosti; překvapující souvislosti: atomy a molekuly ve vesmíru, atomy tvořené miony, antiprotony a kvarky; plazma ve Slunci a v planetární magnetosféře, ve skutečnosti všude ve vesmíru. Jakým zázračným oborem je naše fyzika!

D. Nástroje

Kromě pojmů sdílíme rovněž nástroje a techniky. Máme čas pouze se dotknout povrchu (doména fyziky pevných látek). Vhodným místem pro konání konference APS je Synchrontron Light Source Lab**) – pokud jste schopni odtamtud vytlačit chemiky, geology, biology a techniky. Obsahuje zařízení, elektronové urychlovače, která byla původně vyvinuta pro studium vlastností elementárních částic.

Zdroje synchrotronového záření jsou obzvláště cenné pro rozptylové experimenty s rentgenovým zářením. Rentgenová absorpční jemná struktura (EXAFS) se využívá ke zjištění atomové struktury v amorfních materiálech a používá se ve fyzice, biologii, chemii, geologii i nauce o materiálech. Studují se cizí atomy, vakance, uspořádanost-neuspořádanost, všechny druhy makromolekul. Mössbauerovská technika může být rozšířena na další prvky, polarizační metody mohou zjišťovat nespárované elektrony

*) Higgsovým mechanismem by totiž měly některé částice ve vyvíjejícím se raném vesmíru získávat nenulovou hmotnost, viz např. překlad článku P. C. W. DAVIESE v PMFA 31 (1986), 144–153 – pozn. překl.

**) Synchrontron Light Source Lab – laboratoř umožňující různorodé experimenty s využitím synchrotronového záření, které vzniká v důsledku zakřiveného pohybu relativistických elektronů v magnetickém poli – pozn. překl.

v magnetických soustavách. Měkké rentgenové paprsky se mohou používat ke studiu i tvorbě nových druhů molekul a elektronických mikrostruktur menších než jedna stotisícina centimetru.

Uveďme velice stručně některé další společné techniky. Lasery měly kvalitativní a dramatický vliv na atomovou spektroskopii, ale lze se s nimi setkat i kdekoli jinde. Přispívají k tvorbě nových druhů molekul a k získání okamžitého zobrazení chemických reakcí. Používají se k vytváření plazmatu v neobvyklých podmínkách. Jsou aktivně studovány jako exotické urychlovací zařízení. Zkuste ve vaší budově najít jednu laboratoř bez laseru!

Polarizace mionů a jejich asymetrický rozpad byly objevem částicové fyziky v pozdních 50. letech. Nyní je mionová spinová rezonance sondou ke studiu kinetiky reakcí, dislokací, povrchových jevů atd.

Použití i zneužití matematiky a lehkost přenosu jejích metod jsou velmi rozšířeny. Nelineární jevy, teorie Lieových grup a algebr, kalibrační teorie na mřížích – to vše tvoří velmi neúplný seznam. Která oblast nevyužívá teorii grup? A pokud ta není všeobjímající, tak určitě je to všeobecná a rostoucí závislost na informatice. Nic neposiluje jednotu více než společný nepřítel.

IV. Konečná jednota:

Velké sjednocení a sjednocení fyziky částic a kosmologie

V této části bych chtěl oslavit manželství fyziky částic a kosmologie spolu s teorií gravitace. Jde o manželství, ve kterém významnou roli hraje i fyzika pevných látek. Činím tak jen proto, že jako objektivní pozorovatel vás mohu ujistit, že lidstvo je na prahu nové koncepce reality-prostoru-času-vzniku všeho kolem nás. Dovolte mi, abych se pokusil poskytnout vám krátký pohled na tuto problematiku: bude se týkat urychlovačů i teoretické fyziky, astrofyzikálních měření i kosmologie. Jde o snahu spojit věci uvnitř atomu s největšími astronomickými strukturami ve všezahrnující jednoduché pojmové schéma. Jako většina ostatních oborů v roce 1986, i tato problematika se aktivně vyvíjí.

V roce 1986 věříme, že svět se skládá z 6 kvarků a 6 leptonů (tab. I), podléhajících čtyřem přírodním silám. Kvarky svými zvláštními kombinacemi vytvářejí „jaderné“, resp. silně interagující částice (hadrony), jejichž krátký seznam podává tab. II. Rozdělení základních stavebních kamenů do tří generací je součástí tzv. standardního modelu. Tento model shrnuje obrovské množství dat získaných v urychlovačových laboratořích celého světa počínaje šikmou věží v Pise. Shrnuje též teoretické syntézy, které byly vytvořeny, upravovány a zdokonalovány od časů např. Keplerových. Měl bych snad zdůraznit experimentální důmysl v návrhu urychlovačů a detektorů. Hadrony uvedené v tab. II mají totiž velmi krátké doby života, až pouhých 10^{-21} s. Navzdory tomu jejich hmotnosti, doby života, spin a další kvantová čísla byly v posledních několika desetiletích určeny s uspokojivou přesností.

Kvarky a leptony jsou našimi nejlepšími kandidáty na základní stavební kameny přírody, Démokritovy a-tomy. Jako takové mají bohatý soubor vlastností – hmotnosti,

Tabulka I. Elementární složky hmoty

Leptony (barevně neutrální)			
Jméno částice	Symbol	Klidová hmotnost (MeV/c ²)	Elektrický náboj
Elektronové neutrino	ν_e	~ 0	0
Elektron	e^-	0,511	-1
Mionové neutrino	ν_μ	~ 0	0
Mion	μ^-	106,6	-1
Neutrino tau	ν_τ	< 164	0
Tau lepton	τ^-	1784	-1

Kvarky (barevné triplety)			
Jméno částice	Symbol	Klidová hmotnost (MeV/c ²)	Elektrický náboj
Protonový kvark (up)	u	310	+2/3
Neutronový kvark (down)	d	310	-1/3
Půvabný kvark (charm)	c	1500	+2/3
Podivný kvark (strange)	s	505	-1/3
Pravdivý kvark (truth/top)	t	$\gtrsim 22500$	+2/3
Krásný kvark (beauty/bottom)	b	5000	-1/3

spin = 1/2, elektrický náboj a další vybrané kvantové vlastnosti; mají však nulový poloměr, tj. nemají vnitřní strukturu*). Podle standardního modelu, který je podpořen pozorováním, má každá z uvedených částic příslušnou antičástici.

Nyní se v tomto stručném přehledu obrátíme k silám; jsou uvedeny v tab. III. Nejdříve ponechme stranou gravitaci, neznámější a z moderního hlediska nejméně pochopenou sílu. Ostatní síly jsou úspěšně popsány kvantovou teorií pole, a jsou proto charakterizovány kvanty příslušných polí; ta jsou rovněž částicemi, avšak se spinem rovným jedné. Tyto částice-zprostředkovatelé sil mezi kvarky a leptony se nazývají vektorové bosony. Všechny byly pozorovány, přičemž jejich vlastnosti byly určeny s proměnlivým stupněm přesnosti.

V pořadí druhá neznámější síla, síla elektromagnetická, byla testována s mimořádnou přesností ve své moderní verzi, kvantové elektrodynamice (QED). Ta sloužila jako model pro teorii silné interakce – kvantovou chromodynamiku (QCD), ve které zprostřed-

*) Existují však určité modely, které předpokládají vnitřní strukturu i u kvarků, např. koncepce preonů – pozn. překl.

Tabulka II. Hadrony

1. část. Mesony uvedené v Review of Particle Properties, 1982

Částice s nulovou podivností ($S = 0; C, B = 0$)														
Částice	I	(J^P)	C_n	Částice	I^G	(J^P)	C_n	Částice	I^G	(J^P)	C_n			
π		1^-	(0^-)	+	f'	(1515)	0^+	(2^+)	+	$\rightarrow\delta$	(2450)	1^-	(6^+)	+
η		0^+	(0^-)	+	q'	(1600)	1^+	(1^-)	-	$\rightarrow e^+e^-$	(1100-2200)			
ρ	(770)	1^+	(1^-)	-	$\rightarrow\theta$	(1640)	0^+	(2^+)	+	$\rightarrow NN$	(1400-3600)			
ω	(783)	0^-	(1^-)	-	ω	(1670)	0^-	(3^-)	-	$\rightarrow X$	(1900-3600)			
η'	(958)	0^+	(0^-)	+	A_3	(1680)	1^-	(2^-)	+	η_c	(2980)			+
S^*	(975)	0^+	(0^+)	+	ϕ'	(1680)	0^-	(1^-)	-	J/ψ	(3100)	0^-	(1^-)	-
δ	(980)	1^-	(0^+)	+	g	(1690)	1^+	(3^-)	-	χ	(3415)	0^+	(0^+)	+
ϕ	(1020)	0^-	(1^-)	-	$\rightarrow\phi$	(1850)	0			P_c resp. χ	(3510)	0^+	(1^+)	+
H	(1190)	0^-	(1^+)	-	$\rightarrow X$	(1850)		(2^+)		χ	(3555)	0^+	(2^+)	+
B	(1235)	1^+	(1^+)	-	$\rightarrow S$	(1935)				$\rightarrow\eta'_c$	(3590)			+
$\rightarrow q'$	(1250)	1^+	(1^-)	-	$\rightarrow\delta$	(2030)	1^-	(4^+)	+	ψ	(3685)	0^-	(1^-)	-
f	(1270)	0^+	(2^+)	+	h	(2040)	0^+	(4^+)	+	ψ	(3770)		(1^-)	-
A_1	(1270)	1^-	(1^+)	+	$\rightarrow\pi$	(2050)	1^-	(3^+)	+	ψ	(4030)		(1^-)	-
$\rightarrow\eta$	(1275)	0^+	(0^-)	+	$\rightarrow\pi$	(2100)	1^-	(2^-)	+	ψ	(4160)		(1^-)	-
D	(1285)	0^+	(1^+)	+	$\rightarrow\rho$	(2150)	1^+	(1^-)	-	ψ	(4415)		(1^-)	-
e	(1300)	0^+	(0^+)	+	$\rightarrow e$	(2150)	0^+	(2^+)	+	Y	(9460)		(1^-)	-
π	(1300)	1^-	(0^-)	+	$\rightarrow\rho$	(2250)	1^+	(3^-)	-	Y	(10020)		(1^-)	-
A_2	(1320)	1^-	(2^+)	+	$\rightarrow e$	(2300)	0^+	(4^+)	+	Y	(10350)		(1^-)	-
E	(1420)	0^+	(1^+)	+	$\rightarrow\rho$	(2350)	1^+	(5^-)	-	Y	(10570)		(1^-)	-

Podivné částice $S = 1; C, B = 0$									
Částice	I	(J^P)	Částice	I	(J^P)	Částice	I	(J^P)	
K		$1/2$	(0^-)	<i>Částice s krásou ($B = 1$)</i>			<i>Částice s půvabem ($C = 1$)</i>		
K^*	(892)	$1/2$	(1^-)	$\rightarrow B$	(5200)	D	(1870)	$1/2$	(1^-)
Q_1	(1280)	$1/2$	(1^+)	\rightarrow exotické částice		D^*	(2010)	$1/2$	(1^-)
κ	(1350)	$1/2$	(0^+)			F	(2020)	0	(0^-)
Q_2	(1400)	$1/2$	(1^-)			$\rightarrow F^*$			
$\rightarrow K'$	(1400)	$1/2$	(0^-)						
K^*	(1430)	$1/2$	(2^+)						
$\rightarrow L$	(1580)	$1/2$	(2^-)						
$\rightarrow K^*$	(1650)	$1/2$	(1^-)						
L	(1770)	$1/2$	(2^-)						
K^*	(1780)	$1/2$	(3^-)						
$\rightarrow K^*$	(2060)	$1/2$	(4^+)						
$\rightarrow K^*$	(2200)								

kovatelé síly, gluony, hrají roli fotonů v QED. Sloužila též jako vzor pro slabou sílu, jejíž složitější experimentální vlastnosti vedou k potřebě tří zprostředkovatelů této síly, a to k bosonům W^+ , W^- a Z^0 , které musí být obecně „těžké“.

Tabulka II. Hadrony

2. Část. Baryony uvedené v Review of Particle Properties, 1982

<i>N</i> (939)	<i>P11^a</i>	Δ	(1232)	<i>P33^a</i>	Δ	(1115)	<i>P01^a</i>	Ξ	(1317)	<i>P11^a</i>
<i>N</i> (1440)	<i>P11^a</i>	Δ	(1550)	<i>P31^c</i>	Δ	(1405)	<i>S01^a</i>	Ξ	(1530)	<i>P13^a</i>
<i>N</i> (1520)	<i>D13^a</i>	Δ	(1600)	<i>P33^b</i>	Δ	(1520)	<i>D03^a</i>	Ξ	(1630) ^c	
<i>N</i> (1535)	<i>S11^a</i>	Δ	(1620)	<i>S31^a</i>	Δ	(1600)	<i>P01^b</i>	Ξ	(1680)	<i>S11^c</i>
<i>N</i> (1540)	<i>P13^d</i>	Δ	(1700)	<i>D33^a</i>	Δ	(1670)	<i>S01^a</i>	Ξ	(1820)	<i>13^b</i>
<i>N</i> (1650)	<i>S11^a</i>	Δ	(1900)	<i>S31^b</i>	Δ	(1690)	<i>D03^a</i>	Ξ	(1940) ^c	
<i>N</i> (1675)	<i>D15^a</i>	Δ	(1905)	<i>F35^a</i>	Δ	(1800)	<i>S01^b</i>	Ξ	(2030)	<i>1^b</i>
<i>N</i> (1680)	<i>F15^a</i>	Δ	(1910)	<i>P31^a</i>	Δ	(1800)	<i>P01^b</i>	Ξ	(2120) ^d	
<i>N</i> (1700)	<i>D13^a</i>	Δ	(1920)	<i>P33^b</i>	Δ	(1800)	<i>G09 dead</i>	Ξ	(2250) ^d	
<i>N</i> (1710)	<i>P11^a</i>	Δ	(1930)	<i>D35^a</i>	Δ	(1800) ^d		Ξ	(2370)	<i>1^c</i>
<i>N</i> (1720)	<i>P13^a</i>	Δ	(1940)	<i>D33^d</i>	Δ	(1820)	<i>F05^a</i>	Ξ	(2500) ^c	
<i>N</i> (1990)	<i>F17^b</i>	Δ	(1950)	<i>F37^a</i>	Δ	(1830)	<i>D05^a</i>			
<i>N</i> (2000)	<i>F15^c</i>	Δ	(2150)	<i>S31^d</i>	Δ	(1890)	<i>P03^a</i>	Ω	(1672)	<i>P03^a</i>
<i>N</i> (2080)	<i>D13^b</i>	Δ	(2160) ^d		Δ	(2000) ^d				
<i>N</i> (2100)	<i>S11^d</i>	Δ	(2200)	<i>G37^c</i>	Δ	(2020)	<i>F07^d</i>	Λ_c	(2282) ^a	
<i>N</i> (2100)	<i>P11^d</i>	Δ	(2300)	<i>H39^c</i>	Δ	(2100)	<i>G07^a</i>			
<i>N</i> (2190)	<i>G17^a</i>	Δ	(2350)	<i>D35^d</i>	Δ	(2110)	<i>F05^b</i>	Σ_c	(2450) ^c	
<i>N</i> (2200)	<i>D15^b</i>	Δ	(2400)	<i>F37^d</i>	Δ	(2325)	<i>D03^d</i>			
<i>N</i> (2220)	<i>H19^a</i>	Δ	(2400)	<i>G39^d</i>	Δ	(2350) ^a		Λ_b	(5500) ^d	
<i>N</i> (2250)	<i>G19^a</i>	Δ	(2420) ^d	<i>H311^b</i>	Δ	(2585) ^b				
<i>N</i> (2600)	<i>I111^b</i>	Δ	(2500) ^d							
<i>N</i> (2700)	<i>K113^d</i>	Δ	(2750)	<i>I313^d</i>	Σ	(1193)	<i>P11^a</i>	dibaryony		
<i>N</i> (2800)	<i>G19^d</i>	Δ	(2850) ^b		Σ	(1385)	<i>P13^a</i>			
<i>N</i> (3000) ^d		Δ	(2950)	<i>K315^d</i>	Σ	(1480) ^d		<i>NN</i> (2170)	<i>1D2^b</i>	
<i>N</i> (3030) ^b		Δ	(3230) ^b		Σ	(1680)		<i>NN</i> (2250)	<i>3F3^b</i>	
<i>N</i> (3245) ^d					Σ	(1580)	<i>D13^c</i>	<i>NN</i> (?) ^d		
<i>N</i> (3690) ^d		$Z0$	(1780)	<i>P01^d</i>	Σ	(1620)	<i>S11^c</i>	<i>ΛN</i> (2130)	<i>3S1^b</i>	
<i>N</i> (3755) ^d		$Z0$	(1865)	<i>D03^d</i>	Σ	(1660)	<i>P11^b</i>	<i>ΞN</i> (?) ^d		
		$Z1$	(1900)	<i>P13^d</i>	Σ	(1670)	<i>D13^a</i>			
		$Z1$	(2150) ^d		Σ	(1670) ^c				
		$Z1$	(2500) ^d		Σ	(1690) ^c				
					Σ	(1750)	<i>S11^b</i>			
					Σ	(1770)	<i>P11 dead</i>			
					Σ	(1775)	<i>D15^a</i>			
					Σ	(1840)	<i>P13^d</i>			
					Σ	(1880)	<i>P11^c</i>			
					Σ	(1915)	<i>F15^a</i>			
					Σ	(1940)	<i>D13^b</i>			
					Σ	(2000)	<i>S11^d</i>			
					Σ	(2030)	<i>F17^a</i>			
					Σ	(2070)	<i>F15^d</i>			
					Σ	(2080)	<i>P13^c</i>			
					Σ	(2100)	<i>G17^d</i>			
					Σ	(2250) ^a				
					Σ	(2455) ^b				
					Σ	(2620) ^b				
					Σ	(3000) ^c				
					Σ	(3170) ^d				

Kvalifikace: údaj je

^a dobrý, jasný, bezchybný

^b dobrý, potřebuje však ujasnění,
resp. není absolutně jistý

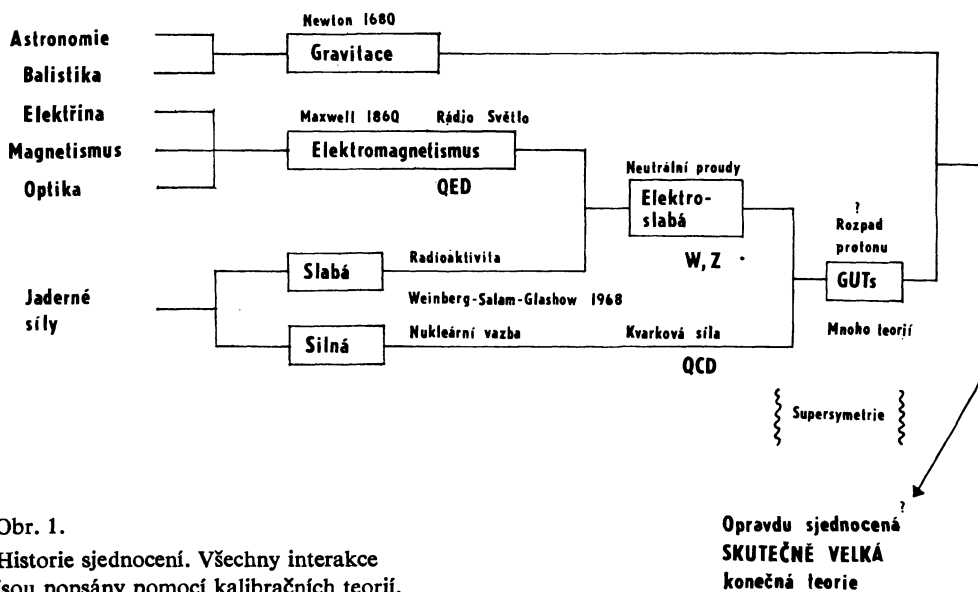
^c potřebné potvrdit

^d slabý

Tabulka III. Fundamentální síly a jejich nositelé

Interakce	Dosah interakce	Relativní velikost interakce na vzdálenosti 10^{-15} m	Nositel	Klidová hmotnost (GeV/c ²)	Spin	Elektrický náboj	Barevný náboj	Poznámka
Gravitační	neomezený	10^{-38}	graviton	0	2	0	0	předpověděn teorií
Elektromagnetická	neomezený	10^{-2}	foton	0	1	0	0	přímo pozorován
Slabá	omezen na méně než 10^{-18} m	10^{-13}	intermediární bosony:	W^\pm 81 Z^0 93	1 1	± 1 0	0 0	přímo pozorovány
Silná	omezen na méně než 10^{-15} m	1	gluon	0	1	0	oktet	permanentně uvězněn

A nyní ke snaze sjednocovat. Na počátku století jsme znali pouze gravitaci a elektromagnetismus a v duchu našeho řeckého dědictví (nebo vlivem vnitřních potřeb) jsme se snažili tyto síly sjednotit, tj. najít nějaký společný, všezahrnující fyzikální zákon, z kterého by tyto zjevně odlišné síly vyplývaly. Velmi dobře známé Einsteinovy pokusy se datují od roku 1901 a byly přerušeny až jeho smrtí v roce 1955. Stručná historie sjednocování je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1. Historie sjednocení. Všechny interakce jsou popsány pomocí kalibračních teorií.

Nedávno se v této oblasti dosáhlo pozoruhodného pokroku. Klíčovým prvkem je pojem symetrie a v tomto ohledu máme znovu dluh vůči starým Řekům. Symetrie, kterou všichni milujeme v umění a v živé přírodě, je důležitou složkou fyzikálních zákonů. Podobně jako umění určuje symetrie seskupení, která jsou pozorována experimentálně a popsána matematicky. Hledání sjednocení zjevně odlišných sil je hledáním symetrie, která je skrytá, ale která je v jistém smyslu společným základem pozorovaných dat (ta jsou asymetrická, jak dosvědčuje tab. II).

Prvním úspěchem bylo spojení slabé a elektromagnetické síly. Aby to bylo možné, bylo třeba postulovat mechanismus narušení předpokládané symetrie hypotetické sjednocené „elektroslabé“ síly. Postulovaný mechanismus se nazývá „Higgsovým mechanismem“. Jak jsem se již zmínil, jeho základní myšlenku poprvé vyslovil Peter Higgs potom, co zjistil, že fyzikové pevných látek používají podobné metody. Higgsovu myšlenku na problém sjednocení elektromagnetických a slabých sil aplikoval Steven Weinberg. Výsledná Salamova-Weinbergova-Glashowova elektroslabá teorie fungovala a nejenže objasňovala mnoho experimentů, v nichž vystupovaly obě síly, ale rovněž úspěšně předpověděla hmotnosti bosonů W a Z . Předpověděné hmotnosti byly mimořádně vysoké, kolem stonásobku hmotnosti protonu. Koncem sedmdesátých let to bylo nad možností prověření pomocí urychlovačů. Předpověď byla nicméně skvěle potvrzena v letech 1983 a 1984, a to experimenty na urychlovači v Ženevě.

Nebyl to však úplný úspěch. Higgsov mechanismus ukazuje na existenci nového, zvláštního pole a odpovídající nové částice, která ještě musí být pozorována. Dokud se tak nestane, úspěch musí být považován za předběžný. Nicméně, snahy o další sjednocení, tj. zahrnutí teorie silné síly — QCD a teorie elektroslabé síly byly tím ovšem značně podpořeny. Tyto snahy se nazývají teorie velkého sjednocení — GUTs*). Bohužel existuje mnoho verzí GUTs, což může za ono „s“ v uvedené zkratce.

Pokud si myslíte, že jsem postupoval příliš rychle, pak nyní musím ještě rychleji. V posledním desetiletí veškeré pokusy o vytvoření správné GUT ztroskotaly na nedostatku experimentálních údajů. Tyto pokusy se objevovaly pod různými jmény: technicolor, rozšířený technicolor, supersymetrie, teorie složených částic a úplně nedávno — jako novinka — superstruny**). Dosavadní marnost úsilí vyplývá ze skutečnosti, že experimentální důsledky těchto spekulativních teorií (sahajících za standardní model) vyžadují pozorování přesahující možnosti současných urychlovačů. Proč tomu tak je? Odpovím stručně: pokud by byl opak pravdou, jedna z uvedených teorií by již byla potvrzena. Existuje však hlubší důvod, který nesmírně rozšiřuje záběr a význam snah o sjednocení.

Znovu zde vstupuje do hry Higgsov mechanismus. Narušení elektroslabé síly vedoucí k oddělení slabé síly (charakterizované svými masívními zprostředkovateli W a Z) od síly elektromagnetické (zprostředkované nehmotným fotonem) naznačuje, že Higgsovo silové pole je zdrojem hmotnosti částic W a Z . Higgsovský vliv však vymizí, když se energie interagujících částic zvýší nad úroveň klidové energie částic W a Z , tj. nad

*) GUTs = Grand Unified Theories — pozn. překl.

***) Teorie superstrun (superstring theory). Jde o supersymetrické rozšíření strunových modelů; ideálním cílem je jednak dosažení sjednoceného popisu všech částic a sil včetně gravitace, jednak vytvoření kvantové teorie gravitace. Podrobnosti viz např. J. NIEDERLE, *Nové představy o prostoročasu a částicích*, Sborník X. konference čs. fyziků, VS JČSMF, Pardubice, červen 1987 — pozn. překl.

100 GeV. Tak částice interagující při vyšších energiích budou podléhat *sjednocené* elektroslabé síle, jejíž všichni nositelé mají nulovou klidovou hmotnost*).

Tomuto příliš stručnému kvalitativnímu popisu může napomoci přirovnání Higgsova pole k éteru 19. století — nyní však ne ve smyslu ukotvení absolutní souřadnicové soustavy, ale jako základu potenciální energie. Jeho vztah k hmotnosti je hluboký a nějak souvisí s $E = mc^2$.

Co říci o velkém sjednocení? Teoretikové zaznamenali, že intenzity sil vskutku závisí na energii pozorování a že při vyšší energii může nastat obnovení vyšší symetrie teorie. Naneštěstí, odhadovaná potřebná energie pro GUT je řádu 10^{14} GeV, což je nedosažitelná energie dokonce i pro technologicky neoptimističtější fyziky.

Do příběhu však nyní vstupuje nový prvek. Jedna oblast astrofyziky, která se soustřeďuje na vznik a vývoj vesmíru; ta má také svůj standardní model, který je rovněž výsledkem skvělých pokroků v umění a technologii pozorování; k těmto pozorováním přispělo podobně jako v částicové fyzice mnoho oborů i mnoho národů. Tímto modelem astrofyziky všeobecně uznávaným je kosmologie velkého třesku. Podle ní v nejranějších okamžicích po kosmické explozi, která vytvořila vesmír, bylo plazma tak horké, že hmota byla rozložena na své prvotní složky — kvarky a leptony, které byly v té době běžným materiálem. A co se týče sil — kosmologové se brzy vyznali v práci s GUTs, narušením symetrie a vůbec všemi teoretickými nástroji fyziky částic. Došlo k intelektuálnímu sjednocení, o kterém jsem se již zmínil.

Současná základní představa se dále rozvíjí přibližně takto: Vesmír se ochlazoval od své mimořádně vysoké počáteční teploty, a tak průměrná energie husté „polévky“ prvotních částic postupně klesala. V průběhu tohoto ochlazování období velkého sjednocení, charakterizované perfektní symetrií, přešlo prostřednictvím higgsovského mechanismu do stavu s nižší symetrií, ve kterém byla elektroslabá síla oddělena od silné síly QCD. Výsledkem dalšího ochlazování byla úplná krystalizace všech tří sil, které dnes pozorujeme.

Je-li tento model porovnán s astrofyzikálními pozorováními současného vesmíru, slaví některé pozoruhodné úspěchy.

Výše jsme použili pojem „perfektní symetrie“, avšak zanedbali jsme gravitaci. Ale koordinovaný útok kosmologů raného vesmíru, expertů na relativitu a odborníků ve fyzice částic v osmdesátých letech začíná vykazovat určité výsledky. Všeobecně se očekává, že čtvrtá síla může být rovněž zahrnuta do posloupnosti kroků, v rámci kterých jsou předtím existující symetrie narušovány efekty Higgsova typu. Vývoj zašel dokonce dále, novější scénáře velkého třesku využily modifikované Higgsovo pole k pokusu objasnit, *proč* došlo k velkému třesku.

Jak by bylo možné podrobit tyto abstraktní spekulace experimentálním testům? Klíčovým faktorem spojujícím kosmologické otázky s nejméně pochopeným problémem ve fyzice částic je Higgsovo pole a jeho kvanta, Higgsovy částice. Elektroslabá teorie nemůže předpovědět hmotnost tohoto objektu, může však, a to s velkou spolehlivostí, poskytnout horní hranici hmotnosti. Ukazuje se, že pokud je Higgsova částice mnohem

*) V teorii superstrun existuje i jiný mechanismus, kterým částice získávají nenulovou hmotnost — pozn. recenzenta.

těžší než 1 TeV, pak samotná matematika, z které vyplynula Higgsova myšlenka, předpovídá pro celou koncepci pohromu. Matematická slučitelnost teorie, která má oslňující úspěchy v oblasti nízkých energií, předpokládá, že při energii, která může vytvořit 1 TeV částice, se musí projevit něco přinejmenším podobného Higgsovu mechanismu.

Právě tato skutečnost motivovala návrh ke stavbě SSC, myšlenky, kterou začala tato přednáška. Ukazuje se, možná ne bez nějakého mechanismu v pozadí, že řešení většiny testů předpovědí teorií velkého sjednocení spadá právě do hmotnostního intervalu mezi současnými pozorováními, 100 GeV, a cílem v podobě SSC: 1 TeV. (Poznamenejme, že proton-protonové srážky v SSC musí probíhat při podstatně vyšších energiích než 1 TeV, protože protony jsou složeny soubory kvarků a gluonů. Pouze srážky těchto základních částic mohou vytvořit higgsovské efekty.)

Prošli jsme tak celý kruh. Sjednocená fyzika obohacuje naši kulturu a tvoří předpoklad naší budoucí technologie. Jedním příkladem je hledání sjednocené prásily, které je nyní povýšeno na sjednocený pohled na vznik a vývoj vesmíru a mnohem hlubší pochopení světa, ve kterém žijeme.

Ne, čas k rozehnutí AAPT a rozpuštění APS ještě nenastal.

Poděkování. Překladatel děkuje recenzentům překladu doc. ing. J. Niederlemu, DrSc., a doc. ing. J. Tolarovi, CSc., za cenné připomínky, které přispěly k zlepšení kvality konečné verze překladu.

O žívote, matematike a počítačoch — rozhovor s Pálom Erdösom

Jozef Kelemen, Bratislava

V tie horúce dni, ktorými nás prekvapil začiatok júla 1987, bolo potešením sedieť v prímom chládku jednej z pracovni na prízemí Matematického ústavu Maďarskej akadémie vied. V bzukote ventilátora som si prezeral známe mená a nad nimi neznáme tváre maďarských matematikov. A čakal som na zoznámenie sa s jedným, ktorého meno je dnes rovnako známe. V mysli som mal fixované tri pojmy, ktoré sa mali stať pilierami budúceho rozhovoru. Teraz poslúžili ako nadpis. A potom sa vo dverách objavila postava, troma štvrtstoročiami veru už trochu zhrbená a zvláštnym spôsobom pripomínajúcim tak trochu reč rozmazaného dieťaťa zaznela oná legendárna replika „Tak prosím, moja hlava je vám k dispozícii“.

Čitateľom Pokrokov netreba osobnosť profesora Erdösa pravdepodobne nijako zvlášť predstavovať. Nájdú sa medzi našimi kolegami mnohí s pomerne malým Erdösovým číslom. Môj spolubesedník spomenul zopár mien. V tom čase, žiaľ, už nebohého dr. Bosáka,