

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jiří Niederle

Současný stav fyziky elementárních částic

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 19 (1974), No. 2, 75--85

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139233>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1974

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>

Současný stav fyziky elementárních částic*)

Jiří Niederle, Praha

Základních stavebních kamenů veškeré hmoty, tj. stabilních částic, mezonových a baryonových rezonancí známe už dnes přes 220. Tento veliký počet nás však nemusí děsit, protože částice a rezonance nebudeme v tomto článku ani klasifikovat, ani popisovat do veškerých podrobností. V článku se zaměříme, a to formou přístupnou nespecialistům v tomto oboru, na některé nové teoretické představy, k nimž jsme nedávno dospěli a na neočekávané experimentální výsledky, které jsme získali na právě dokončených fantastických zařízeních.

Nejdříve začneme objevem, který přesto, že je starý několik týdnů, můžeme označit jako prvořadý — objevem tzv. neutrálních proudů ve slabých interakcích. Pak si popíšeme ještě několik přitažlivých míst v mozaice našich znalostí o elementárních částicích. Bude to jednak narušení invariance vůči časové inverzi při rozpadech kaonů**), dále některé překvapivé výsledky ze vstřícných protonových svazků a konečně některé zatím nevysvětlené výsledky oboru právě se rodícího mezi jadernou fyzikou a fyzikou vysokých energií.

1. Sjednocení slabých a elektromagnetických jevů; objev neutrálních proudů ve slabých interakcích

Podle našich představ a zkušeností existují v přírodě čtyři druhy sil, a to gravitační síla, slabá síla, elektromagnetická síla a silná síla. Přesto, že gravitační síla způsobuje např. vzájemný pohyb galaxií a síla slabá zase tak odlišný jev, jako je třeba β -radioaktivita, snaží se fyzikové už několik desítek let všechny čtyři síly v přírodě nahradit čtyřmi projevy jediné síly. Proč se jim to příliš nedaří, snadno pochopíme, srovnáme-li např. už jen velikosti těchto sil. Kdybychom k takovému srovnání použili čtyři druhy sil, kterými na sebe působí 2 protony od sebe vzdálené asi 10^{-15} cm, potom bychom pro poměr velikostí jednotlivých sil působících mezi oběma protony dostali asi tyto hodnoty:

silná síla	10^3
elektromagnetická síla	10
slabá síla	10^{-10}
gravitační síla	10^{-34}

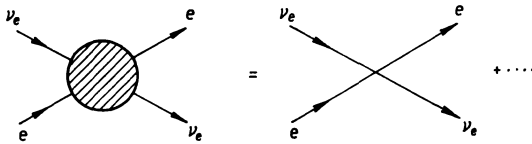
Vidíme tedy, že poměr velikostí sil je ohromný, že velikosti se liší až o 37 řádů. To je také patrně největší překážka snah o jejich sjednocení.

*) Článek vznikl na základě přednášky konané ve Fyzikálním ústavu ČSAV v listopadu 1973.

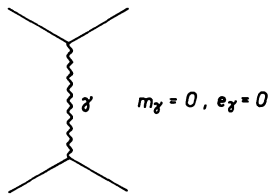
**) Kaony, někdy též mezony K, jsou nestabilní elementární částice.

V poslední době se však zdá, že teoretici uspěli alespoň částečně. Tak jako MAXWELL v minulém století spojil zdánlivě nesouvisející elektrické a magnetické jevy do jedné teorie, tak se zase dnes potvrzují předpovědi, které plynou z teorie, která sjednocuje jevy elektromagnetické a slabé. Tak v teoriích SALAMA nebo WEINBERGA máme pod jednou střechou např. β -radioaktivitu a optické jevy. Chtěl bych však zdůraznit, že nová či nové teorie nejen představují sjednocení elektromagnetických a slabých jevů, ale představují i nové teorie samotných slabých interakcí. Ověření nových teorií zatím spočívá právě v ověřování jejich předpovědí pro slabé interakce. V čem záležela totiž staré teorie slabých interakcí, v čem bylo dosaženo pokroku novou teorií a jaké její předpovědi byly experimentálně potvrzeny?

Typickým procesem způsobeným slabými interakcemi je např. β -rozpad neutronu $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$ *) nebo rozptyl elektronového neutrina na elektronu $e + \nu_e \rightarrow e + \nu_e$. V běžné Fermiho teorii slabých interakcí se např. poslední proces popisuje prvním členem poruchového rozvoje podle vazbové konstanty slabých interakcí, tj. jako interakce 4 částic v jednom světobodu, což graficky zachycuje obr. 1. Protože druhý člen rozvoje, místo

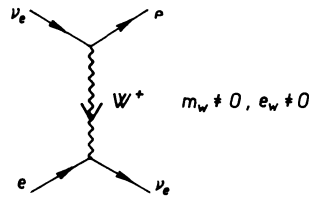


Obr. 1.



$m_\gamma = 0, e_\gamma = 0$

Obr. 2.



$m_w \neq 0, e_w \neq 0$

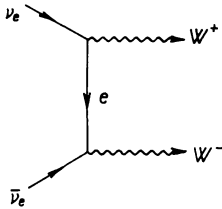
Obr. 3.

aby byl malou korekcí k prvnímu členu, je nekonečný, říkáme, že Fermiho teorie slabých interakcí je nerenormalizovatelná. Podobné problémy byly kdysi i v kvantové elektrodynamice. Tam se však s nekonečnými fyzikové vypořádali v padesátých letech, hlavně zásluhou FEYNMANA, SCHWINGERA a TOMONAGY. Kvantová elektrodynamika je tedy dnes renormalizovatelná a její předpovědi souhlasí s experimenty na šest cifer. Nepřekvapí proto, že v teorii slabých interakcí se fyzikové snažili postupovat podobně. V čem spočívá tato analogie s elektrodynamikou?

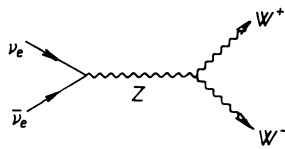
V kvantové elektrodynamice je elektromagnetická interakce zprostředkována nermotným, nenabitým fotonem γ . Např. rozptyl dvou nabitých částic graficky popisujeme (v nejnižším řádu) diagramem na obr. 2. SALAM ([1]) a WEINBERG ([2]) na rozdíl od FERMIHO proto předpokládali, že slabá interakce není interakcí čtyř částic v jednom bodě,

*) Kde n značí neutron, p proton, e elektron a $\bar{\nu}_e$ elektronové antineutrino.

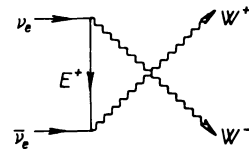
ale je také zprostředkována částicí – hypotetickým vektorovým mezonem W . Potom např. diagram (nejnižšího řádu) rozptylu elektronového neutrina na elektronu na obr. 3 na rozdíl od obr. 1 vypadá podobně jako v elektrodynamice. Zavedením vektorového mezonu se situace v teorii slabých interakcí hodně zlepšila, ale ne úplně. Na rozdíl od fotonu vektorový mezon W musí být totiž hmotný a nabitý. To má za následek, že se všech nekonečných výrazů v teorii nezbavíme. Např. při procesu $\nu_e + \bar{\nu}_e \rightarrow W^+ + W^-$ je opět nekonečný příspěvek diagramu na obr. 4. Ke kompenzaci příspěvku tohoto



Obr. 4.

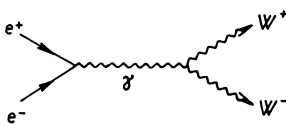


Obr. 5a.

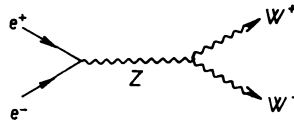


Obr. 5b.

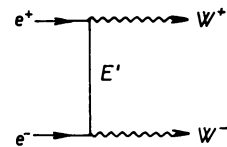
diagramu bylo třeba do teorie buď zavést neutrální částici, neutrální vektorový mezon Z , nebo nabitou částici, tzv. těžký lepton E^+ , nebo obojí, a tedy k příspěvku předchozího diagramu přičíst příspěvek buď diagramu na obr. 5a), nebo diagramu na obr. 5b), anebo obou. Poněvadž vektorový mezon W je nabitý, může interagovat i elektromagneticky. Pak např. při procesu $e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^-$ dostáváme opět nekonečný příspěvek od diagramu na obr. 6. Protože tento nekonečný příspěvek k elektromagnetickému procesu $e^+ + e^- \rightarrow W^+ + W^-$ opět kompenzujeme příspěvkem diagramu buď na obr. 7a), nebo na obr. 7b), anebo obou, tedy stejným mechanismem (hypotetickými částicemi) jako ve slabých procesech, jsou nové teorie opravdu sjednocením slabých a elektromagnetických interakcí.



Obr. 6.



Obr. 7a.



Obr. 7b.

Jak se však v nových teoriích zbavit nekonečen opravdu systematicky, tj. jak provést jejich renormalizaci, ukázal až mladý holandský fyzik G. 'tHOOFT v roce 1971 ([3]). Jaké jsou hlavní myšlenky jeho postupu?

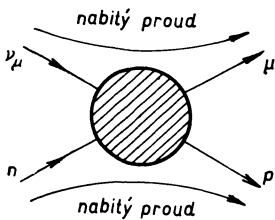
Renormalizace kvantové elektrodynamiky úzce souvisí s její kalibrační invariancí, tedy s vlastností, že její langrangián (a tím i pohybové rovnice z něho vyplývající) nemění svůj tvar, provedeme-li s elektromagnetickým čtyřpotenciálem A_μ a zúčastněnými nabitými fermionovými poli $\psi^{(k)}$, $k = 1, 2, \dots, n$, následující kalibrační (cejchovací) transformace

$$A_\mu \rightarrow A_\mu + \frac{\partial \eta}{\partial x^\mu}, \quad \psi^{(k)} \rightarrow e^{ie(\kappa)\eta} \psi^{(k)}, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

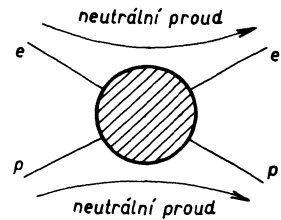
kde η splňuje rovnici $\square\eta = 0$. Pro kalibrační invarianci kvantové elektrodynamiky bylo podstatné, že foton je nehmotný, tedy, že $m_\gamma = 0$. V případě hmotného fotonu by v lagrangiánu byl totiž i jeho hmotový člen $m_\gamma^2 A_\mu A^\mu$, který je zřejmě neinvariantní vůči kalibračním transformacím.

V nových teoriích slabých interakcí úlohu fotonu hraje jeden nebo více vektorových mezonů. Aby tyto teorie byly renormalizovatelné, bylo třeba nalézt kalibračně invariantní teorii s vektorovými poli. První kalibračně invariantní teorii nabitých, ale nehmotných vektorových polí vytvořili v r. 1954 YANG a MILLS ([4]). Jejich konstrukce nám však pro nové teorie slabých interakcí nestačila, neboť vektorová pole $\Phi_\mu^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, n$, v teoriích Weinberga a Salama (nebo alespoň některá z nich) musí být hmotná. Teprve v r. 1971 G. t'Hooft provedl renormalizaci Yangových-Milsových teorií, v nichž vektorová pole získají hmotu zvláštním mechanismem, aniž bychom zavedli hmotové členy $m_{(i)}^2 \Phi_\mu^{(i)} \Phi^{(i)\mu}$ do lagrangiánu. Jak už víme, ty by narušily kalibrační invarianci teorií, a tedy i jejich renormalizovatelnost. Zvláštní mechanismus, kterým t'Hooft zhmotnil původně nehmotná vektorová pole poprvé použili HIGGS a KIBBLE ([5]) v r. 1964. Ke zhmotnění dochází tím, že vakuum teorie není kalibračně invariantní. Na druhé straně lagrangián zůstává stále kalibračně invariantní, protože neobsahuje hmotové členy vektorových polí jako v Yangově-Milsových teoriích, a tedy celá teorie je renormalizovatelná.

Obraťme se teď k objevu neutrálních proudů. V obvyklé (Fermiho a CABIBBOVĚ) teorii slabých interakcí si představujeme, že každý proces probíhá jako interakce dvou nabitých proudů. Např. proces $\nu_\mu + n \rightarrow \mu + p$ si představujeme jako interakci proudu $(\nu_\mu \mu)$ a proudu (np) , což zachycuje obr. 8. Protože neutrální částice $\nu_\mu(n)$ přechází na nabitý mion $\mu(p)$, je příslušný proud nabitý.



Obr. 8.



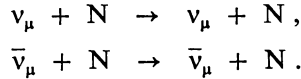
Obr. 9.

V teorii elektromagnetických interakcí je situace jiná. Tam každý proces probíhá jako vzájemné působení dvou neutrálních proudů. Např. proces $e^- + p \rightarrow e^- + p$ je způsoben interakcí neutrálních proudů (ee) a (pp) , jak je zachyceno na obr. 9. Teprve v Salamově a Weinbergově teorii ([2], [3]) mohou být také slabé interakce způsobeny neutrálními proudy, tj. existencí jednoho či více neutrálních vektorových mezonů Z , podobně jako interakce elektromagnetické. Tak by např. vedle obvyklých slabých procesů způsobených nabitými proudy:

$$(1) \quad \begin{aligned} \nu_\mu + N &\rightarrow \mu^- + N^*, \\ \bar{\nu}_\mu + N &\rightarrow \mu^+ + N \end{aligned}$$

*) Zde N značí nukleon, tj. proton nebo neutron. Na pravé straně procesů (1), (2) se může též vyskytnout místo jednoho nukleonu několik silně interagujících částic — hadronů.

měly existovat i procesy způsobené neutrálními proudy:

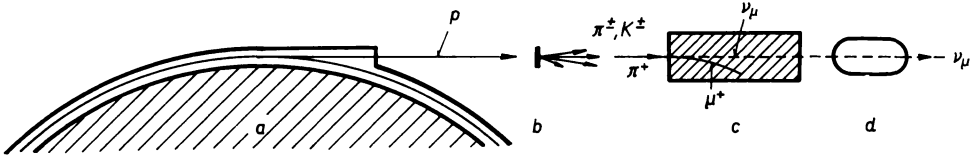


Je však velice obtížné pozorovat tyto procesy, protože neutrino a antineutrino jsou nenabitá a nehmotná a tak s okolní hmotou mohou interagovat pouze prostřednictvím slabé síly. Jak je toto působení pranepatrné, ukazuje tento příklad: Kdybychom 10^{11} Zemí položili do řady jednu vedle druhé, potom by neutrino letící touto řadou mělo 50%ní pravděpodobnost, že proletí všemi 10^{11} Zeměmi, aniž by jedinkrát bylo s nimi v interakci! Abychom procesy s neutriny mohli tedy studovat, potřebovali jsme jednak mohutné neutrinové zdroje, jednak účinné detektory neutrin.

V současné době v CERN*) a v NAL*) máme obojí. Urychlovače tam poskytují asi 10^{10} neutrin nebo antineutrin každé dvě vteřiny a gigantická detekční zařízení je umožňují pozorovat. V CERN se neutrino detekují pomocí bublinové komory Gargamelle dosahující délky 5 m a obsahující 10 tun těžké kapaliny (freonu); v NAL k detekci neutrin slouží jiskrová komora rozměru $(2 \times 2 \times 9) \text{ m}^3$ s 16 t kapalného scintilátoru.

S těmito zdroji a detektory se skutečně podařilo uvedené procesy (2) pozorovat ([6]).

Popišme si stručně, jak takové pokusy vypadaly. Uspořádání experimentu ukazuje obr. 10. Protony z protonového urychlovače ostřelují terč. V terči vznikají mezony π a K, které jsou nestabilní a při jejichž rozpadu vznikají neutrino nebo antineutrino (např. $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$). Nežádoucí částice z rozpadů mezonů π a K jsou v CERN odfiltrovány vrstvou několika tisíc tun železa, silnou asi 10 m, a v NAL dokonce kilometrovou vrstvou zeminy, neboť produkované částice tam mají ještě větší energii. Neutrino, která



Obr. 10. *a* – urychlovač protonů; *b* – terč, kde vznikají π^\pm, K^\pm které se rozpadají za vzniku $\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$; *c* – filtr nežádoucích částic; *d* – detektor neutrinových interakcí.

díků své malé interakci s okolní hmotou projdou stínicí vrstvou, způsobují interakce v detekčním zařízení. Pro správnou představu – asi z 800 000 snímků, které byly pořízeny pomocí bublinové komory Gargamelle v CERN, pouze 576 zachycuje interakce neutrin typu (1) a (2) a z nich pouze 165 hledané procesy (2). Tedy z 800 000 snímků jen 165 zachycuje procesy způsobené neutrálními proudy! Protože i poměr všech neutrinových procesů typu (1) a (2) k procesům (2) je v dobré shodě s Weinbergovou předpovědí, zdá se, že jsme svědky triumfu lidského ducha – popsání elektromagnetických a slabých interakcí v rámci jediné teorie.

*) CERN = Evropské středisko jaderného výzkumu u Ženevy; NAL = Laboratoř národního urychlovače v Batávii u Chicaga.

2. Narušení invariance vůči časové inverzi

Každý fyzik si dobře pamatuje, jaký rozruch způsobilo zjištění Wu a Yanga v r. 1956, že slabé interakce narušují invarianci vůči prostorové inverzi-paritě P, čili populárně řečeno, že v přírodě ke každému jevu nemusí existovat jev zrcadlový. Záhy se ukázalo, že v přírodě (resp. v slabých interakcích) je narušena i další invariance, totiž invariance vůči nábojové sdruženosti C (transformaci, která převádí částice na antičástice). Poněvadž narušení C-invariance kompenzovalo narušení P-invariance, příroda zůstala invariantní vůči kombinované invarianci CP (v zrcadlovém jevu musíme všechny částice zaměnit antičásticemi). Tuto představu rozbil experiment provedený v r. 1964 ([7]). Bylo v něm ukázáno, že v rozpadech kaonů dochází k narušení i CP-invariance. Proto už snad fyziky tolik nepřekvapilo, když v r. 1972 některé experimenty v CERN jsou vysvětlovány tím, že příroda není invariantní ani vůči časové inverzi T (ke každému procesu nemusí existovat v přírodě proces probíhající obráceně). Konečně z axiómu lokální kvantové teorie plyne, že příroda má být CPT-invariantní, tj. invariantní vůči současnému provedení tří operací: C, P a T. Jestliže má příroda být CPT-invariantní, ale přitom není CP-invariantní, dá se očekávat, že i T-invariance musí být narušena.

Nezachování T-invariance bylo pozorováno na rozpadech neutrálních mezonů K. Neutrální mezony K , a to K^0 s podivností $+1$ a \bar{K}^0 s podivností -1 , vznikají při srážkách hadronů*). Kdyby v přírodě neexistovaly slabé interakce, byly by K^0 a \bar{K}^0 stabilní a měly by stejnou hmotu. Slabé interakce způsobí dvě věci: jednak umožní přechody mezi K^0 a \bar{K}^0 , takže vzniknou různé jejich směsi, jednak způsobí jejich rozpady. Obecný neutrální stav mezonů K je potom lineární kombinací stavů $|K^0\rangle$ a $|\bar{K}^0\rangle$ ([8]):

$$a_1|K^0\rangle + a_2|\bar{K}^0\rangle.$$

Časový vývoj amplitudy je dán rovnicí

$$i \frac{d}{dt} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} \\ F_{21} & F_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix},$$

kde maticové elementy F_{ij} jsou komplexní. Měřením různých rozpadových směsí $|K^0\rangle$ a $|\bar{K}^0\rangle$ získáme informace o F_{ij} . Dá se ukázat, že z předpokladu různých invariancí plynou podmínky, které musí splňovat prvky F_{ij} , totiž ([8]):

$$\begin{aligned} \text{z T-invariance plyne: } & |F_{12}| = |F_{21}|; \\ \text{z CPT-invariance plyne: } & F_{11} = F_{22}; \\ \text{z CP-invariance plyne: } & F_{11} = F_{22} \text{ a } |F_{12}| = |F_{21}|. \end{aligned}$$

Experimenty v CERN ([9]) ukazují, že

$$|F_{12}| - |F_{21}| \approx 10^{-3}(|F_{12}| + |F_{21}|).$$

Vidíme, že $|F_{12}| \neq |F_{21}|$, a tedy, že rozpady neutrálních kaonů narušují jak T-invarianci, tak i CP-invarianci.***) CPT-invariance se zdá být nenarušena.

*) Hadrony je název pro všechny částice, které interagují silně.

**) Někteří teoretici ([10]) upozornili na to, že experimenty [9] bychom mohli vysvětlit také tak, že T-invariance platí, ale CPT a unitarita nikoliv.

Ačkoliv narušení T-invariance je nepatrné, je nutno si uvědomit, že je to poprvé, co jsme je v přírodě pozorovali, a že tedy T-invarianci nemůžeme brát jako neochvějný základ při budování teorie elementárních částic.

3. Překvapivé výsledky z ISR, NAL a SLAC

Nejdříve několik slov o zařízeních, na kterých jsme překvapivé výsledky získali. Je to především zařízení se vstřicnými svazky protonů (ISR) v CERN. Protony z CERNského urychlovače jsou vyvedeny do dvou soustředných téměř prstencových trubic majících průměr asi 300 m. Vysoké vakuum (10^{-11} torr) v trubicích umožňuje, že v nich protony mohou obíhat prakticky beze ztrát řadu hodin. Protony v prstencích obíhají ve vzájemně opačných směrech. Na 8 místech, kde se prstence protínají, mohou protonové svazky spolu interagovat. Na rozdíl od klasického uspořádání, kdy urychlená částice-střela ostřeluje částice-terč v klidu, se při vstřicných svazcích pohybuje jak střela, tak i terč, a to proti sobě. Jestliže CERNský urychlovač poskytuje protony s energií asi 28 GeV, potom experimenty se vstřicnými svazky, kdy takto urychlené protony letí proti sobě, jsou co do energie ekvivalentní experimentům v klasickém uspořádání, kdy střela má energii asi 2000 GeV.

Dalším zařízením je protonový urychlovač v Batávii (NAL). Pracuje v klasickém uspořádání. Poslední urychlovací stupeň tvoří kruhový synchrotron o průměru 2 km, dávající protony s energií 400 GeV (se supravodivými magnety má urychlovat protony až na 1000 GeV).

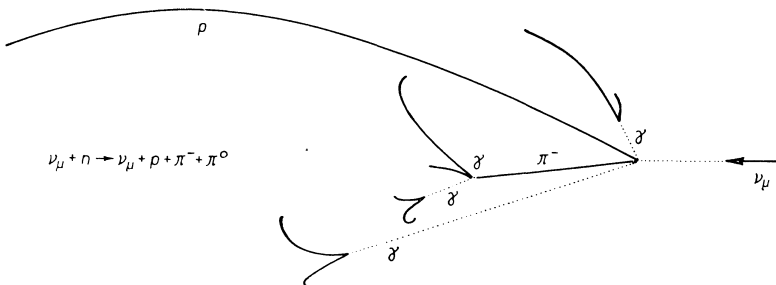
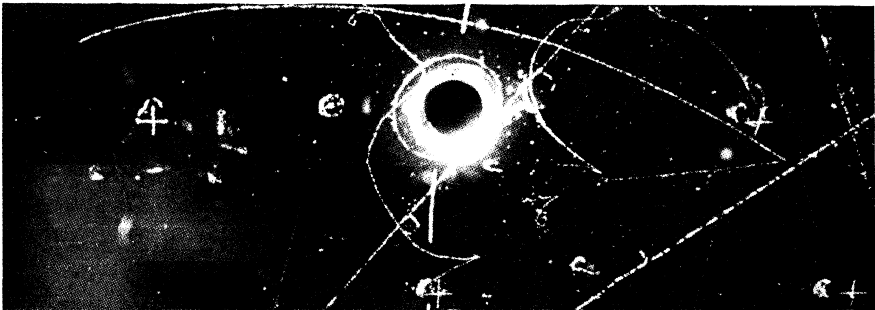
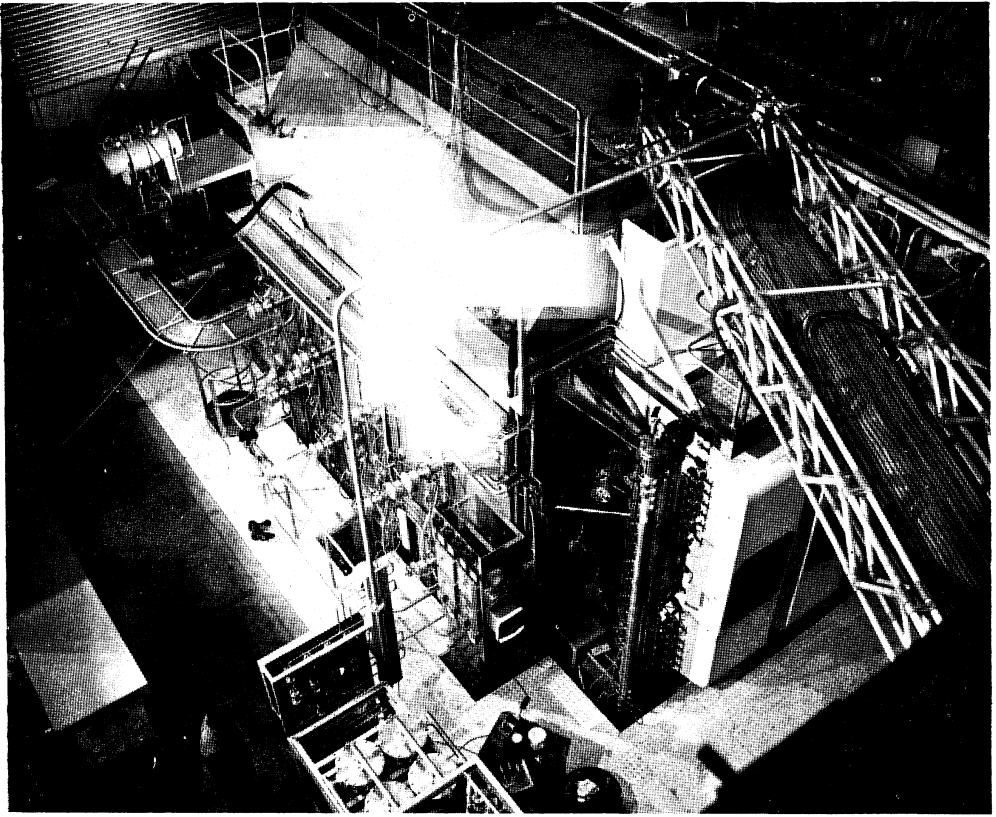
Konečně ještě několik čísel o největším lineárním urychlovači elektronů a pozitronů SLAC.*) Je dlouhý skoro 3 km a dává elektrony o energii 21 GeV.

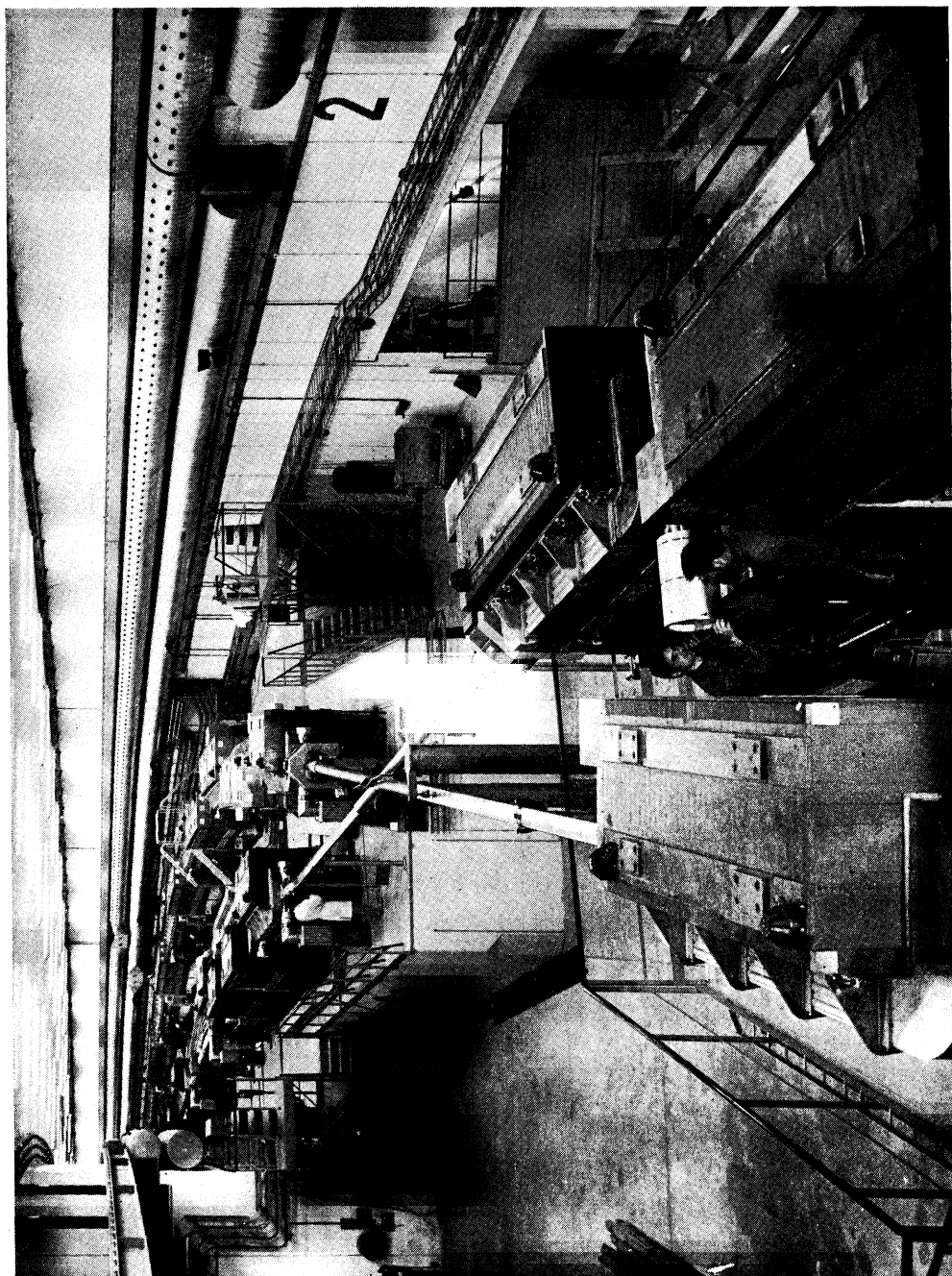
S jakými překvapivými výsledky jsme se na těchto zařízeních zatím setkali?

- i) Na ISR jsme pozorovali produkci velkého množství částic pod velkými úhly. Konkrétně jsme pozorovali při srážkách vstřicných protonových svazků vzniklé neutrální mezony π^0 . Očekávali jsme na základě zkušeností získaných při nižších energiích, že asi na 10^8 mezonů π^0 bude vždy jeden π^0 , jehož přenos impulsu bude velký (≥ 4 GeV/c). Ve skutečnosti jsme takových mezonů pozorovali 10 000krát více ([11]). Protože tyto výsledky připomínají RUTHERFORDŮV experiment**), existuje i jejich podobné populární vysvětlení: protony jsou zrnité, obsahují značně hmotná jádérka, tzv. partony. Podobně (tj. existencí partonů v protonech) můžeme vysvětlit i vysoce energetické rozptyly elektronů na protonech, pozorované v SLAC, i poměr účinných průřezů neutrinových a antineutrinových procesů, měřených v CERN ($\sigma_{\bar{\nu}}/\sigma_{\nu} = 1/3$).
- ii) Velmi těžké rezonance. V experimentech na urychlovačích předchozí generace

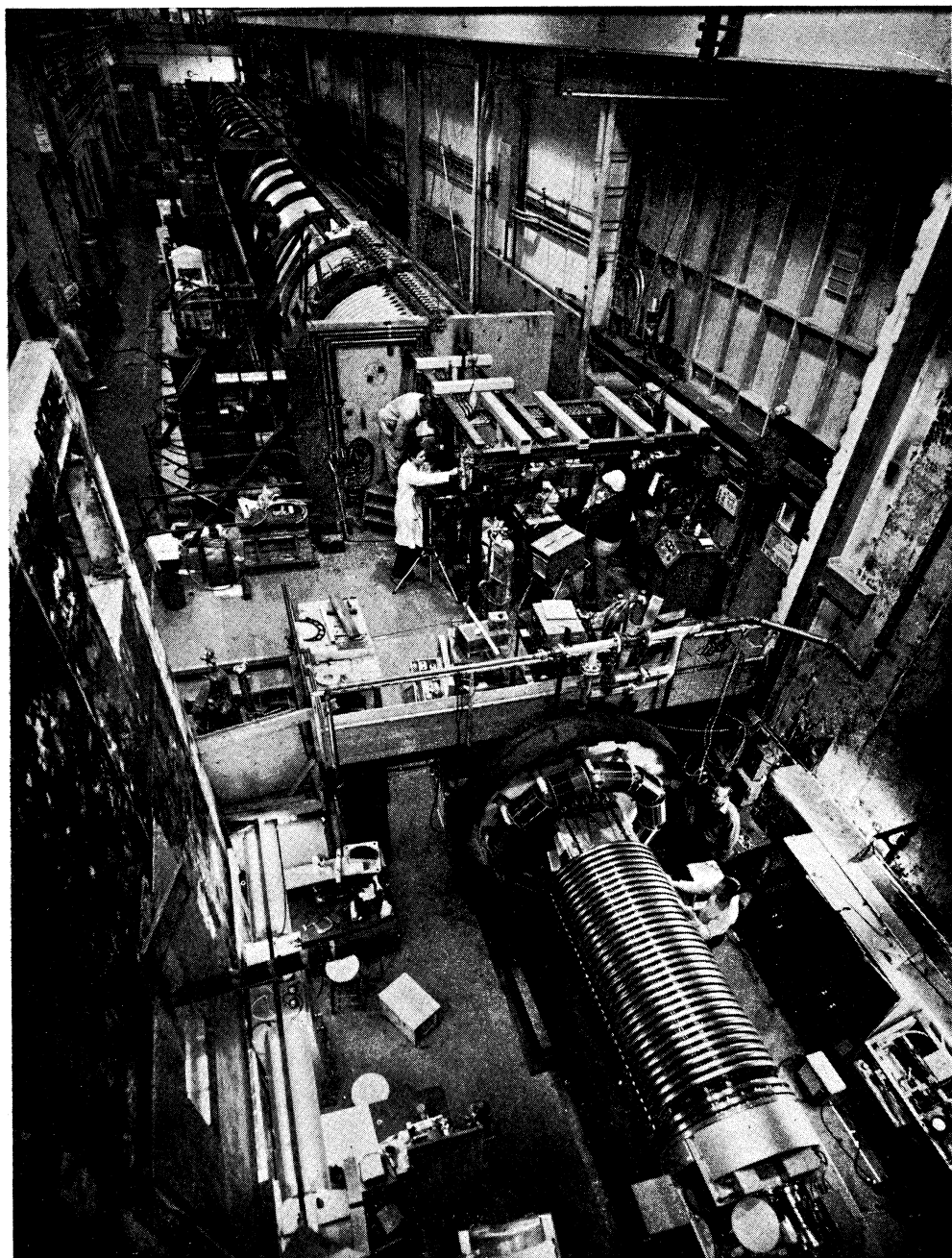
*) SLAC = lineární urychlovač ve Stanfordu (USA).

**) RUTHERFORD ostřeloval v r. 1919 částicemi α zlatou fólii. Proti předpovědi získané za předpokladu homogenního rozdělení hmoty uvnitř atomu zlata pozoroval, že mnohem více částic α je fólii prakticky „odraženo“ nazpátek. Experimentální výsledky interpretoval tak, že v atomech existují velice hmotné oblasti — jádra.

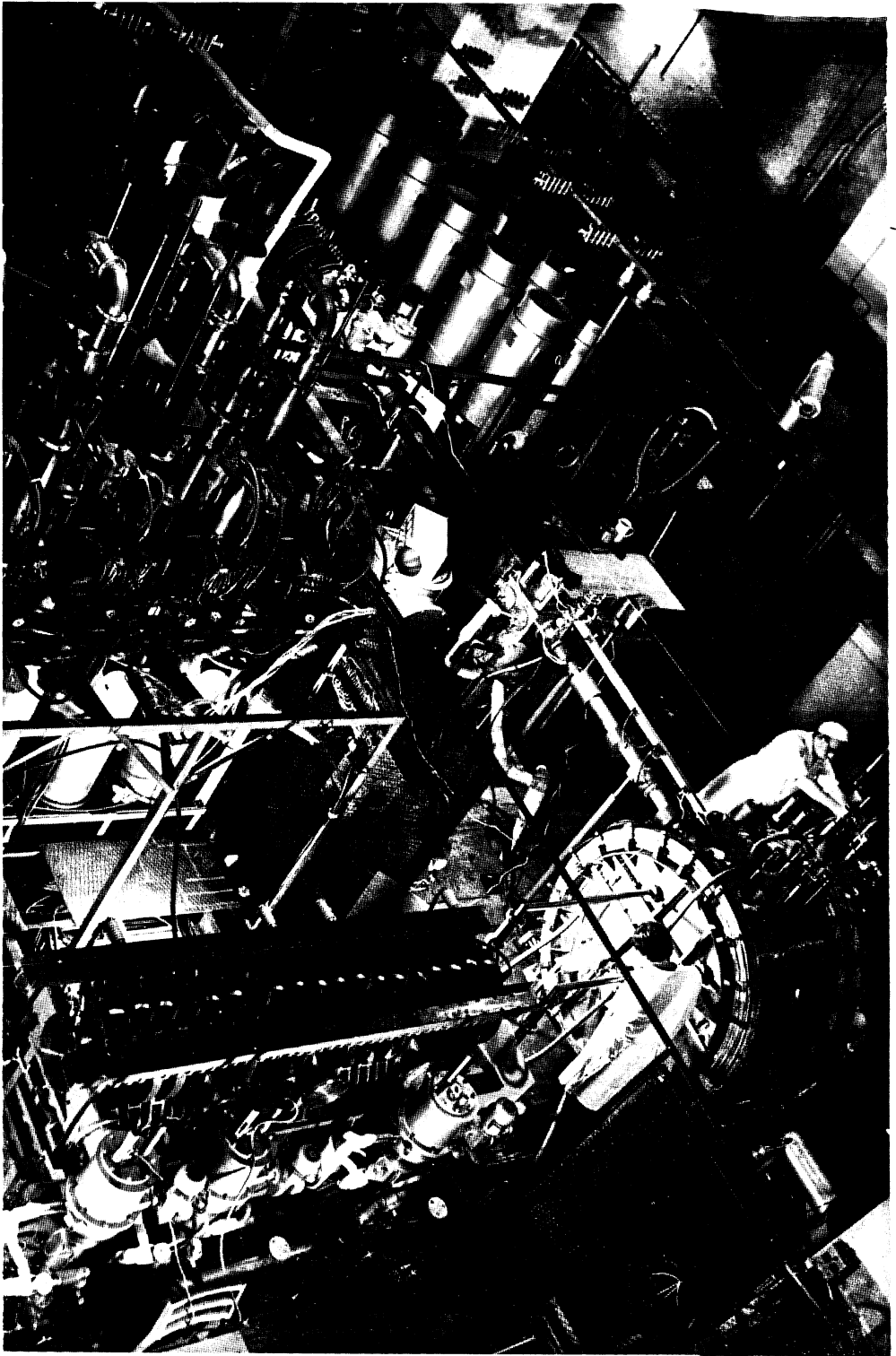




Jedna z oblastí, kde se protínají prstence protonových svazků. Vpravo dole je vidět trubici, kterou jsou protony do jednoho z prstenců vstříkovány z CERNského protonového urychlovače (PHOTO CERN).



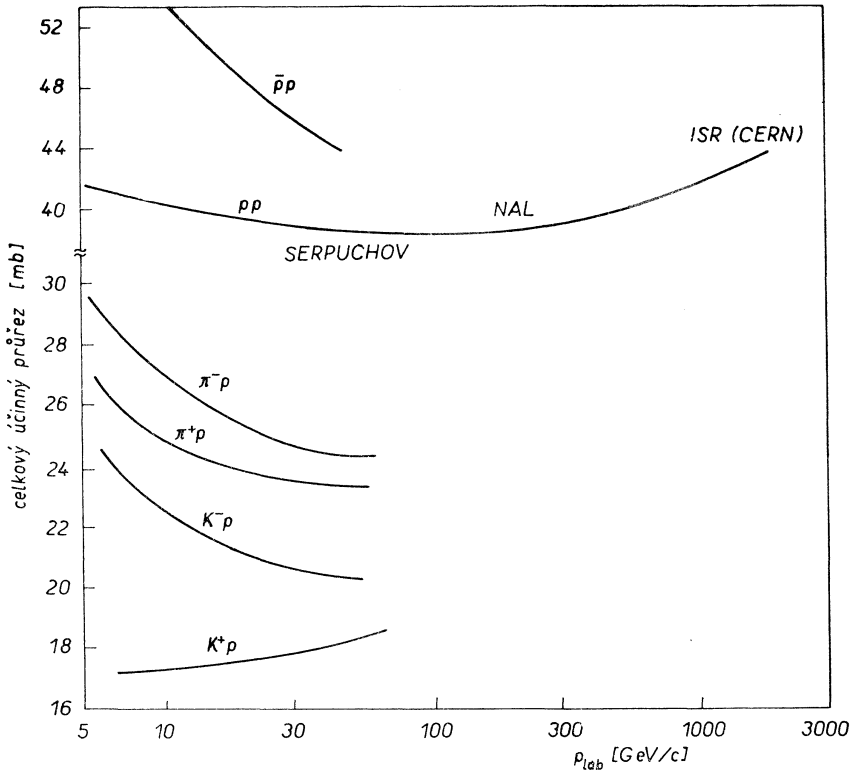
Urychlovač Super Hilac z Berkley (USA), který může urychlit libovolně těžké ionty (včetně iontů uranu) až na energie 8,5 MeV/nukleon. Tento urychlovač slouží k přípravě nových transuranů a má být použit i k výzkumům v biologii a medicíně.



Bublinová komora Gargamelle v CERN, pomocí níž byly pozorovány neutrální proudy. Komora je dlouhá 4,8 m, váží 25 t a obsahuje 12 000 l těžké kapaliny (freonu nebo propanu) (PHOTO CERN).

(CERN, Serpuchov, Dubna apod.) jsme pozorovali rezonance, jejichž hmoty nepřesáhly hmotu dvou protonů. V experimentech se vstřícnými svazky (ISR) v CERN byl překvapením objev rezonancí majících hmotu rovnou až 12 hmotám protonu.

- iii) Růst celkového účinného průřezu rozptylu protonu na protonech. Připomeňme si, že celkový účinný průřez rozptylu protonu na protonech je vlastně velikost oblasti, ve které jeden proton může působit na druhý. Oblast působení jednoho protonu představuje jakousi kouli. Protonu-střele se oblast působení protonu-terče jeví jako plocha jistého kruhu a tak jednotky účinného průřezu jsou barny, $1 \text{ b} = 10^{-24} \text{ cm}^2$. Velikost celkového účinného průřezu rozptylů různých částic zachycuje obrázek ([11], [12]):



Příklad interakce obsahující neutrální proud fotografované v komoře Gargamelle. Neutrino přichází zprava a interaguje s neutronem. Při interakci nevzniká žádný nabitý lepton, takže jde o neutrální proudy. Objem bublinové komory Gargamelle je totiž dostatečně velký, abychom mohli určit všechny vzniklé částice.

Růst celkového účinného průřezu rozptylu protonu na protonech znamená, že oblast působení jednotlivého protonu se zvětšuje s růstem energie. Co tomu říká teorie?

V teorii máme jednak tzv. POMERANČUKŮV teorém, který zhruba říká, že při vysokých energiích by celkové účinné průřezy rozptylu částic na terči měly být stejné jako celkové účinné průřezy rozptylu příslušných antičástic na daném terči, tedy např. $\sigma_{pp} = \sigma_{\bar{p}p}$, $\sigma_{K^+p} = \sigma_{K^-p}$ apod. Dále máme v teorii k dispozici absolutní omezení růstu celkového účinného průřezu s energií s : $\sigma_{tot} \leq \text{konst.} \log^2 s/s_0$, které odvodil FROISSART čistě z teoretických velmi obecných předpokladů. Kromě těchto dvou všeobecně uznávaných výsledků jsou předpovědi různých teorií o chování účinných průřezů v závislosti na energii naprosto nejednotné (σ_{tot} s energií může růst, klesat anebo být konstantní). Většina fyziků se však domnívala, že účinné průřezy v rozptylu částic budou od určité energie vždy konstantní. Tato domněnka vycházela z představy, že od jisté energie příslušná de Broglieova vlna nalétávající částice bude „ohmatávat“ terč stále stejným způsobem. Experimenty [12] ukazují, že celkový účinný průřez σ_{pp} roste, a to patrně jako $\log^2 s$, což vyvolalo nutnou revizi řady teorií. Vysvětlení experimentů [12] máme dnes několik, avšak které je správné, rozhodnou patrně až pokusy, které budou provedeny při vyšších energiích.

4. Nové výsledky nového mezioboru

V současné době jsme svědky jakési symbiózy jaderné fyziky a fyziky vysokých energií. Přesto, že mezony π hrají klíčovou roli ve všech silných interakcích, nevíme skoro nic o interakcích těchto mezonů mezi sebou. Piony se totiž rozpadnou s poločasem asi 2×10^{-8} sec., takže experimenty na rozptyl mezonů π na mezonech π nemůžeme dobře realizovat. Poněvadž proton si můžeme představit jako systém neutronu a kladně nabitého pionu, můžeme se o interakci $\pi\pi$ něco dozvědět nepřímo, a to z interakce mezonu π s protonem nebo s atomovým jádrem. Tím jaderná fyzika může pomoci fyzice elementárních částic.

Na druhé straně zůstává v jaderné fyzice stále otevřená otázka, jakou úlohu hrají mezony π v interakcích mezi protony a neutrony v jádře. Aby se jaderní fyzikové něco dozvěděli o uspořádání protonů a neutronů v atomovém jádře, začali používat metod fyziky vysokých energií. Tak ostřelováním jader velmi energetickými elektrony se ukázalo, že jádra těžších atomů mají jakýsi obal — atmosféru a tvrdší centrum. O atmosféře jsme se dále dozvěděli řadu věcí pomocí tzv. exotických atomů ([13]). To jsou atomy, které ve svém obalu místo elektronu obsahují záporně nabitý mion nebo pion anebo

◀ „Smokotron“ — Sarancevův urychlovač těžkých iontů v Dubně. Tento urychlovač je avantgardní svou konstrukcí, kterou navrhl prof. VEKSLER. Poněvadž urychlení částice závisí na jejím elektrickém náboji, jsou těžké ionty v „Smokotronu“ obklopeny oblakem elektronů a je pak urychlován celý systém těchto částic. Systém má hmotu prakticky stejnou, jako je hmota iontu, ale mnohem větší náboj, takže je urychlení vysoce efektivní. Z důvodu stability má oblak elektronu tvar prstence podobný kouři z doutníku — proto název „kouřotron“.

dokonce hyperon Σ^- . Protože jsou tyto částice těžší než elektron, jejich dráhy leží blíže jádru (pro Σ^- jakoby jím dokonce procházely) a tak citlivěji reagují na rozdělení náboje v atomovém jádře. Pion a hyperon Σ^- navíc může s jádrem interagovat i silně. Z měření γ -záření, které vzniká při přechodech těchto částic z jedné dráhy v atomu na druhou, můžeme získat informace i o silných interakcích.

V CERN byly nedávno provedeny zajímavé pokusy, ve kterých středně těžká jádra byla ostřelována piony ([14]). Výsledky jsou překvapivé. Průchod tří nebo pěti pionů jádrem se zdá být snazší než průchod jediného pionu.

Připravují se dokonce pokusy, kdy budeme jádru ostřelovat jádra. Čekáme pouze na dokončení urychlovačů těžkých jader, jakými budou např. Super HILAC v Berkeley nebo Sarancevův urychlovač v Dubně. Tyto urychlovače nám také mají pomoci objevit nové stabilní transurany, které očekáváme někde kolem atomového čísla 112.

5. Přínos fyziky vysokých energií

V článku jsme se dotkli několika oblastí fyziky vysokých energií, ve kterých v poslední době došlo k největšímu pokroku nebo překvapení. K velkým změnám však došlo i v přínosu tohoto oboru. Význam fyziky vysokých energií nespočívá už dnes pouze v odhalování nových tajemství přírody, v rozšiřování našich základních znalostí o přírodě a ve vytváření moderního světového názoru, ale i v mnoha aplikacích. Techniky fyziky vysokých energií se dnes už přímo užívá ke studiu struktur v biologii, ve fyzice pevných látek, v molekulární fyzice a v chemii. Svazky urychlených částic a izotopy ničí zhoubné nádory, konzervují potraviny, způsobují genetické zásahy u obilnin a jiných rostlin. Zdá se, že v budoucnu bude možno ohřívát elektronovými svazky plazmu a dokonce i razit tunely. Velkým pomocníkem je fyzika elementárních částic pro astrofyziku. Zde pomáhá utvářet představy o vzniku vesmíru a stavbě hvězd, její automatická zařízení navádějí teleskopy, detekují neutrina ze Slunce atd. Je třeba si uvědomit, že fyzika vysokých energií svými nároky podnítila též rozvoj řady oborů, např. výpočtové techniky, materiálů, kryogenní a vakuové techniky, rychlé elektroniky, supravodivých magnetů a víceúčelových detekčních zařízení. Odhaduje se, že už jen za rozvoj materiálů, který fyzika vysokých energií způsobila, dostaneme zpět všechny investice vložené do tohoto oboru.

Literatura

- [1] A. SALAM, *Elementary Particle Theory* (N. Svartholm Ed.), Almquist and Forlag, Stockholm, 1968.
- [2] S. WEINBERG, *Phys. Rev. Letters* 13 (1967), 1264; *Phys. Rev.* D7 (1973), 1068.
Viz též
L. VAN HOVE, *Čs. čas. fys.* 23A (1973), 377.
B. W. LEE, *Proc. of the XVI Int. Conf. on High Energy Physics*, Vol. 4, National Accelerator Laboratory, Batavia, 1972, p. 249.
- [3] G. T'HOOFT, *Nucl. Phys.* B33 (1971), 173; B35 (1971), 167.
- [4] C. N. YANG, R. L. MILLS, *Phys. Rev.* 96 (1954), 191.
- [5] P. W. HIGGS, *Phys. Let.* 12 (1964), 132; *Phys. Rev. Letters* 13, (1964), 508.
T. W. KIBBLE, *Phys. Rev.* 155 (1967), 1554.

- [6] F. J. HASERT et al., Phys. Letters *46B* (1973), 121; *46B* (1973), 138 viz též CERN Courier *13*, (1973), 291.
- [7] J. H. CHRISTENSEN et al., Phys. Rev. Letters *13* (1964), 138.
- [8] J. CANESCHI, L. VAN HOVE, CERN 67—27, Sept. 1967.
- [9] K. R. SCHUBERT et al., Phys. Letters *31B* (1970), 662.
- [10] B. G. KENNY, R. G. SACHS, Phys. Rev. *8D* (1973), 1605.
- [11] CERN Courier *13* (1973), 211.
- [12] U. AMALDI et al., Phys. Letters *43B* (1973), 231; *44B* (1973), 112.
S. R. AMENDOLIA, Phys. Letters *44B* (1973), 119.
- [13] J. NIEDERLE, Čs. čas. fys. *20A* (1970), 584.
- [14] K. GOTTFRIED, Acta Physica Polonica (1973) v tisku; CERN — preprint TH 1545, CERN, 1972.

(Mezi fyziky.) I šli jsme, a uvedli mne na nějaký plac, uprostřed něhož užířím veliký rozložitý strom, na němž všelijaké listí a všelijaké ovoce (v škořepinách všecko) rostlo; pravili mu Natura. Filosofů vůkol něho zástup byl, vzhledajících a ukazujících sobě, jak které ratolesti, listu a ovoci říkají. I řekl jsem: „Tito, slyším, že se jmenovati těch věcí učí, ale aby přirození stíhati měli, ještě nevidím.“ — Odpověděl mi tlumočník: „S to ne každý býti můž; než hleď na tyto.“ I vidím některé větvoří ulamovati a listí i ovoce rozvínati, a kde na ořech přišlo, zubami hrýzti, až jimi třeskotali; ale oni pravili, že to škořepiny praští, a přebírajíce se v nich chlubil se, že jádro mají, tajně jedni druhým, ale řídkým ukazující. Já pak nahlédaje také mezi ně pilně, patrně jsem viděl, že zevnitřní sic šupinu a kůru zhmožděnou a rozmačkanou měli, nejtvrďší však škořepina, v níž zavinité jádro leželo, ještě byla celá. Vida já tu tedy i marnou honosnost i daremné kvaltování (viděl jsem zajisté, jak někteří i oči sobě vyhleděli i zuby vylámali) pobídl jsem, aby chom jinam šli.

(Mezi arithmetiky.) V tom jdouce trefíme mezi jakési, kteříž plnou síň cifer majíce, přebírali se v nich. Někteří berouc z hromady rozsazovali je; jiní zase přehrášlím shrnujíc na hromádky kladli; jiní opět z těch hromádek díl ubírali a obzvlášť sypali; jiní opět ty díly v jedno snášeli; a jiní zase to dělili a roznášeli, až jsem se tomu jejich dílu podivil. Oni mezi tím vypravovali, jak v celé filosofii jistšího umění nad toto jejich není; tu že nic chybiti, nic ujíti, nic nadbýti nemůže. „Nač pak to umění jest?“ řekl jsem. Oni mé hlouposti se podivíc, hned jeden přes druhého divy mi vypravovati začnou. Jeden, že mi poví, kolik husí v stáde letí, nepočítaje jich; druhý, že mi poví, v kolika hodi-

nách cisterna pěti rourkami vyteče. Třetí, že mi poví, kolik v měsči grošů mám, nenahlédaje tam atd., až se jeden našel, kterýž se písek mořský v počet uvéstí podvoloval a o tom hned knihu sepsal (Archimedes). Jiný příkladem jeho (ale větší subtilnosti dokázati chtěje) dal se v počítaní v slunci létajícího prášku (Euklides). I užásl jsem se; a oni mi k srozumění posloužití chtíce, ukazovali své regule: Trium, Societatis, Alligationis, Falsi; kterýmž jsem jakž takž vyrozuměl. Než když mne do nejzadnější, jenž Algebra aneb Cossa slove, uvéstí chtěli, takových jsem tam divokých jakýchsi klik a háků hromady uhlédal, že mne o málo závrat nepopadl; a zavra já oči prosil jsem, aby mne odtud vedli.

(Mezi astronomy.) Tehdy vede mne Všudybud po schodech na jakés pavlače, kdež hromady užířím lidí žebříky dělajících a k obloze přistavujících, pak lezoucích zhůru a lapajících hvězdy a roztahujících přes ně šňůry, pravidla, závaží, kružidla a cesty běhů jejich měřících. O čemž někteří usadic se regule psali, kdy, kde a jak se scházeti neb rozcházeti mají, vyměřující. I podivil jsem se opovážlivosti lidské, že až do nebe se zpínati a hvězdám regule dávatí smějí; a zachutnav sobě to tak slavné umění, živě jsem se ho i sám také chápati počal. Ale poobírav se s tím čistě jsem spatřil, že hvězdy jinak, než jim tito houlí, tancovaly. Což i oni sami znamenavše, na anomalitatem coeli naříkali, vždy jinak a jinak v řád je sobě uvéstí se pokoušejíce, až i místa jim měníce, některé dolů na zem strhující, zemi pak zhůru mezi ně sázejíce; summou tak i jinak hypotheses vymýšleli, an dokonale nic se trefovati nechtělo.