

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

L. I. Lapidus; E. O. Okonov

Nejnovější výzkumy fyziky elementárních částic

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 3 (1958), No. 4, 416--427

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137040>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1958

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>

FYSIKA

NEJNOVĚJŠÍ VÝZKUMY FYSIKY ELEMENTÁRNÍCH ČÁSTIC*)

L. I. LAPIDUS, E. O. OKONOV

Sta vědců v různých zemích světa pracují na problémech fyziky elementárních částic. Z výsledků jejich prací jsou již nyní získány zajímavé údaje o dříve neznámé oblasti fyziky. Byla objevena velká skupina elementárních částic. Ještě více strhující a poutavé problémy čekají na vyřešení.

Při zrodu jaderné fyziky, na začátku našeho století, byly mnohé objevy učiněny jednotlivci, kterým bylo dostupné jen nejjednodušší experimentální zařízení. V současné době pracují na výzkumech atomového jádra velké kolektivy vědců a inženýrů, dělníků a lajorantů, kteří jsou vyzbrojeni dokonalou experimentální technikou. Vytvořit velká vědecko-výzkumná střediska, vybavená drahým a složitým zařízením a s velkým množstvím vysoce kvalifikovaných specialistů mají možnost jen technicky vysoce vyvinuté země. K těmto zemím patří i Sovětský svaz. Na jaře 1956 byl na návrh Sovětského svazu založen na základě již existujících ústavů (Institutu pro jaderný výzkum a Elektrofyzikální laboratoře) — Spojený ústav jaderného výzkumu, jehož členy jsou, jak je dobře známo, Albánie, Bulharsko, Maďarsko, Lidová republika Vietnam, Německá demokratická republika, Čínská lidová republika, Korejská lidově demokratická republika, Mongolsko, Polsko, Rumunsko, SSSR a Československo.

Sovětský svaz předal tomuto ústavu unikátní zařízení, včetně synchrociklotronu, který urychluje protony na energii až do 680 MeV, a synchrofázotron, který je schopný urychlovat protony do 10 BeV. Do Spojeného ústavu byla zahrnuta také Laboratoř pro teoretickou fyziku, ve které jsou sdružení fyzikové-teoretikové z různých zemí.

V nejbližší době bude ve Spojeném ústavu zřízena laboratoř pro neutronovou fyziku, která bude mít impulsní reaktor původní konstrukce. Dále se staví urychlovač iontů s větším počtem nábojů, jehož pomocí bude možno získávat umělé transurany. Současně s tímto urychlovačem se buduje laboratoř pro určování a výzkum prvků těžších než uran.

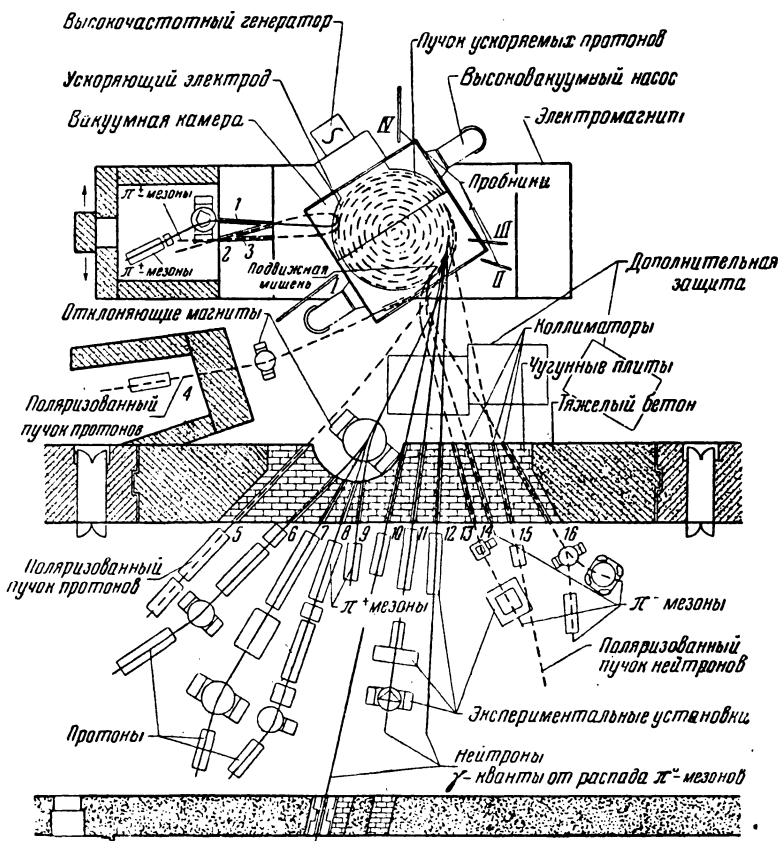
V tomto článku se nemůžeme rozepisovat o celé mnohostranné činnosti Spojeného ústavu. Budeme hovořit jen o základním, hlavním tematu jeho výzkumů — o fyzice částic vysokých energií.

Synchrociklotron ústavu pro jaderný výzkum (nyní Laboratoř jaderného výzkumu Spojeného ústavu), který byl dán do provozu 14. 12. 1949, byl až dosud největším zařízením tohoto druhu na světě. Za 8 let nepřetržité práce byly za pomoci tohoto urychlovače provedeny rozsáhlé vědecké výzkumy.

*) Л. И. Лapidус, Э. О. Okонoв, *Новейшие исследования в физике фундаментальных частиц, Природа, 1957, č. 11.*

Znameníte vlastnosti synchrocyclotronu a usilovná práce kolektivu dělníků, inženýrů a techniků umožnily zvýšit začátkem r. 1957 pracovní dobu urychlovače ze 100 na 140 hodin týdně.

Ještě velkolepějším zařízením je synchrofázotron Laboratoře vysokých energií. Spuštění tohoto urychlovače, největšího na světě, bylo ve světové vědě významnou událostí, která otevřela obrovské perspektivy v dalším rozvoji jaderné fyziky. Úpornou a vskutku obětavou prací kolektivu vědců, inženýrů, techniků a dělníků-montérů bylo dosaženo významného úspěchu: 16. dubna 1957 byla na tomto synchrofázotronu dosažena projektovaná



Obr. 1. Schéma vyvádění svazků částic velkých energií ze synchrocyclotronu.

Высокочастотный генератор — vysokofrekvenční generátor, Ускоряющий электрод — urychlující elektroda, Вакуумная камера — vakuová komora, Пучок ускоренных протонов — svazek urychlených protonů, Высоковакуумный насос — vysokovakuová výtěva, Электромагнит — elektromagnet, Мезоны π^+ , π^- , π^0 — mesony π^+ , π^- , π^0 , Подвижная мишень — pohyblivý terč, Пробники — zkoušečky, Дополнительная защита — dodatečná ochranná stěna, Коллиматоры — kolimátory, Чугунные плиты — litinové desky, Тяжелый бетон — těžký beton, Отклоняющие магниты — odchylovací magnety, Поляризованный пучок протонов — polarisovaný svazek protonů, Поляризованный пучок нейтронов — polarisovaný svazek neutronů, Экспериментальные установки — experimentální zařízení, Протоны — protony, Нейтроны — neutrony, γ -кванты от распада π^0 -мезонов — kvanta gama z rozpadu mesonů π^0

energie urychlených protonů — 10 miliard elektronvoltů. Tato energie značně převyšuje energii částic, kterou se dosud podařilo dosáhnout fyzikům v laboratořích. Vybudování tohoto velkolepého a složitého experimentálního zařízení je jasným svědectvím veliké průmyslové mocnosti naší země a vysoké úrovně rozvoje národní vědy a techniky.

K čemu slouží urychlovače? Urychlovače jsou mohutnými „zdroji“ záření, jejichž pomocí je člověku možno pronikat do tajemství atomového jádra.

Ovšem nestačí pouze získat svazek urychlených částic. Je nutno ho vyvést z urychlovače, do patřičných experimentálních zařízení pro další výzkum. K zaostření a vychýlení svazků nabitých částic se používají magnetické čočky a obrovské vychylovací magnety. Vybrané a zostředěné svazky částic určité energie se převádějí do měřicího pavilonu, kde jsou k dispozici nejrůznější experimentální aparatury. Na obr. č. 1 je uvedeno schema vyvedení svazků různých částic ze synchrocyclotronu. Celkem se z komory tohoto urychlovače vyvádí 14 svazků částic.

Vědci, pracující se synchrocyclotronem v Laboratoři jaderného výzkumu, mají k dispozici svazek protonů o energii až 680 MeV a mesony π o energii až 400 MeV. Svazky protonů a též i jiných částic mohou být nepolarisované a polarisované. (Říkáme, že svazek částic je polarisovaný, jestliže vlastní momenty hybnosti částic jsou orientovány převážně jedním směrem.) Urychlovač Laboratoře pro jaderný výzkum umožňuje provádět pokusy jak s nepolarisovanými, tak i s polarisovanými protony a neutrony. Hustota vyvedeného svazku nepolarisovaných protonů dosahuje $1,5 \cdot 10^9$, polarisovaných protonů $5 \cdot 10^5$, a hustota polarisovaných i nepolarisovaných svazků neutronů je 10^4 částic/cm² . sec.

Laboratoře Spojeného ústavu jaderného výzkumu jsou vybaveny velmi dokonalým a nejnovějším experimentálním zařízením, jehož hlavní část je zhotovena v ústavu samém. Jaké metody a přístroje se používají v laboratořích Spojeného ústavu pro všestranné studium vlastností atomového jádra?

Výzkumné metody elementárních částic

Metoda fotografických emulzí. Fotografická deska byla prostředkem, jehož pomocí bylo po prvé objeveno štěpení atomového jádra. Od té doby bylo vypracováno mnoho jiných metod registrace jaderných částic. Avšak fotografická metoda nejen že nepozbyla svého významu, nýbrž naopak si vydobyla ještě širšího použití.

Pro registraci částic je zejména zapotřebí, aby dráhy zkoumané částice (a také dráhy produktů jejího rozpadu) byly zcela zachycené v emulsi. Proto se nyní pro jaderný výzkum používají speciální silnovrstvé emulse. Je vypracována metoda nanášení vrstev různých emulzí jedné na druhou, bez jakékoli mezivrstvy. Takováto několikacentimetrová vrstva emulzí, skládající se z několika set vrstev, byla nazvána „emulzí komorou“ — analogicky podle Wilsonovy komory. Je třeba říci, že nanášení emulsních vrstev a jejich fotografické zpracování po ozáření je velmi složitý proces. Pracovníci Laboratoře vysokých energií tento problém úspěšně zvládli. Vypracovali efektivní způsob nanášení fotoemulzí a nové metody vyvolávání a ustalování emulsních vrstev.

Jedním ze závažných nedostatků fotoemulzí je to, že obsahují velké množství jader stříbra a bromu, které mají složitou jadernou strukturu, a to značně ztěžuje pozorování elementárních procesů, jako je např. interakce elementárních

částic s jednotlivými „volnými“ nukleony. Aby bylo možno pozorovat podobné jevy v laboratoři, vypracovává se metoda bezprostředního nanesení zmrazeného vodíku na emulsi desky, (při teplotě méně než -259°C). Jádra tohoto vodíku (protony) slouží jako terč pro dopadající částice.

Vedle obvyklé expansní Wilsonovy komory se v laboratořích Spojeného ústavu hodně používá difusních komor. Difusní komora pracuje na principu difuze kondensujících par z teplé oblasti (kde pára není nasycena) do studené oblasti (kde se pára přesycuje). Tímto způsobem se vytvářejí podmínky pro narůstání kapiček na iontech, tak jako u obvyklých Wilsonových komor. Difusní komora může pracovat s různou náplní, např. i s vysoce stlačeným vodíkem, což umožňuje efektivně pozorovat i „elementární“ procesy.

Ve Spojeném ústavu se používá difusních komor o průměru do 40 cm, naplněných vodíkem a heliem pod tlakem do 20 atm.

V Laboratoři vysokých energií byla zkonstruována a vyrobena difusní komora, největší na světě, která je určena pro zkoumání jedné z nejzajímavějších částic — kaskádního hyperonu. Difusní komory se s úspěchem používají ke zkoumání interakce mesonů π s vodíkem a s jádry helia.

Wilsonovy komory a vysokotlaké difusní komory mají však ten nedostatek, že náplň komory má malou hustotu. Z toho důvodu nebývá dolet vysokoenergetické částice vždy zcela v komoře zachycen. Fotoemulze s velkou hustotou však zase na druhé straně obsahují prvky se složitou strukturou jádra (jak již bylo řečeno), což ztěžuje pozorování primárních procesů. Z toho důvodu byla v posledních letech vypracována nová metoda registrace nabitých částic — pomocí tzv. bublinové komory. (Viz „Příroda“, 1955, č. 10, str. 79—81.)

Ve Spojeném ústavu, vybaveném dvěma největšími urychlovači, byl připraven rozsáhlý program rozvoje této nové metody jaderných výzkumů. Již je vyrobeno a pracuje několik poměrně nevelkých bublinových komor s propanovou náplní.

V nejbližší době bude zkonstruována řada jiných bublinových komor, mezi nimi i velká vodíková komora s pracovním objemem více než 20 l, kterou bude možno plnit i tekutým deuteriem. Tato komora bude modelem pro druhou, ještě větší vodíkovou komoru s pracovním obsahem asi 250 l. Pro zajištění provozu této komory se postaví speciální závod.

Prohlížení jaderných emulsi a fotografií z komor je velmi namáhavá a zdlouhavá práce. Visuální metodou není zajištěno potřebně rychlé prohlížení všech fotografií. A tak vznikla otázka, zda není možno proces prohlížení zautomatizovat. V Laboratoři vysokých energií je už vyvinut přístroj pro automatické prohlížení drah částic v emulsi, který mnohonásobně zvětší rychlost prohlížení.

Ve Spojeném ústavu začali pracovat na automatických zařízeních, která nejen že budou rychle vybírat zajímavé jevy, nýbrž i provádět analýsu drah částic, pozorovaných v komorách, stanovovat jejich zakřivení a ionisace podél dráhy částice. Nejsložitější a nejpracnější výpočty se budou provádět na elektronovém počítačím stroji „Ural“, který má Spojený ústav k dispozici. Díky tomu budou vědečtí pracovníci takřka zcela zproštěni úmorné práce s prohlížením a výpočty, a značně se urychlí proces zpracování experimentálních údajů.

Scintilační a Čerenkovovy počítače. V praxi fyzikálních experimentů našly velkého uplatnění scintilační a Čerenkovovy počítače. V současné době se v Laboratoři vysokých energií zkoušejí Čerenkovovy počítače, jejichž optiku

tvoří olovnaté sklo a též plyny o různém tlaku. Na rozdíl od pokusů s komorami a emulsemi, ve kterých částice zanechává viditelnou stopu, nemáme při pokusech s počítači fotografie, podle kterých by bylo možno učinit závěry o charakteru nějaké nové částice. Přesto však se počítače používají s úspěchem při pozorování částic, jejichž vlastnosti mohou být předpovězeny teoreticky. Tak tomu bylo např. s objevením antiprotonu a antineutronu, kdy počítačová aparatura byla sestavena na zjišťování částic, jejichž hlavní vlastnosti byly předem stanoveny na základě všeobecných principů Diracovy teorie. V Laboratoři vysokých energií hodlají používat vedle komor a emulsi celý systém scintilačních a Čerenkovových počítačů pro pozorování antihyperonů, při čemž je systém konstruován s ohledem na předpokládané vlastnosti nových částic.

Rozsah tohoto článku nedovoluje popsat všechny experimentální aparatury. Mimo zmíněných přístrojů používaly se a používají se při výzkumech vysoce efektivní hodoskopické systémy s několika sty Geigerových počítačů, mnoho-kanálové magnetické spektrometry spolu s plynovými a scintilačními počítači a mnoho jiných přístrojů.

Některé problémy fyziky částic vysokých energií

Problém interakce nukleon — nukleon. Síly, které působí mezi nukleony, se v ničem nepodobají silám elektromagnetickým nebo gravitačním. Především se jejich existence projevuje působením na malou vzdálenost řádu 10^{-13} cm; jsou to tzv. jaderné síly — síly krátkého dosahu. Na základě experimentů s nukleony malých energií bylo zjištěno, že jaderné síly závisí složitým způsobem na spinech částic. Z hlediska jaderných sil nehraje rozdíl v elektrických vlastnostech částic celkem žádnou roli; tedy proton a neutron jsou částice velmi podobné a jejich podobnost má základní význam ve fyzice atomového jádra. Nejvýrazněji se tato podobnost projevuje u „zrcadlových jader“. Tak se nazývá dvojice jader se stejným hmotovým číslem, které se vyznačují tím, že všechny protony jednoho jádra jsou ve druhém jádru zaměněny za neutrony, a všechny neutrony zase naopak za protony. Příklady takových dvojic jsou He^3 a H^3 , Li^7 a Be^7 , C^{14} a O^{14} atd. Zkušenost ukazuje, že obě zrcadlová jádra mají podobné vlastnosti: skoro stejnou energii vazby jádra, podobnou strukturu spektra vzbuzených hladin, stejné spiny. Tato symetrie ve vlastnostech zrcadlových jader je zřejmě dána charakterem interakce mezi protony a neutrony, vlastnostmi symetrie jaderných sil. Na základě celého souhrnu vědeckých poznatků je možno tvrdit, že síly, působící mezi dvěma protony se velmi podobají silám, které působí mezi dvěma neutrony. Tato vlastnost jaderných sil se nazývá nábojová symetrie jaderných sil.

Skoro nejdůležitějším faktem, zjištěným při pokusech s rozptylem protonů na protonech a neutronů na protonech bylo objevení rovnosti jaderné interakce mezi jakýmikoli dvojicemi nukleonů, které mají stejné momenty hybnosti a stejnou paritu.

Celý souhrn nyní dostupných údajů o tom, jak se chovají protony a neutrony jak při malých tak i při velkých energiích ukazuje, že charakter interakce dvou protonů, dvou neutronů a též neutronu s protonem je velmi podobný ve všech jevech, při kterých je malý vliv elektromagnetických sil. Tato vlastnost byla nazvána nábojovou nezávislostí jaderných sil.

Kvantitativní výzkumy interakce nukleonů mezi sebou jsou zejména pozoruhodné při energiích o několika stech MeV, kdy délka vlny nukleonu je značně

menší než poloměr působení jaderných sil. Když byl v SSSR v r. 1949 vybudován mohutný synchrocyclotron, získali sovětsí fyzikové možnost provádět experimentální výzkumy s částicemi vysokých energií v laboratorních podmínkách. V Laboratoři jaderného výzkumu se ve velkém měřítku provádějí výzkumy s neutrony, které mají střední energii 380 a 570 MeV a s protony, urychlenými na 460 a 660 MeV.

Američtí fyzikové zjistili svými výzkumy, že v oblasti energií od 150—340 MeV účinný průřez pro rozptyl protonů na protonech nezávisí na úhlu a na energii. To ukazovalo na mimořádně velkou intenzitu sil mezi dvěma protony. V Laboratoři jaderného výzkumu se tento jev zkoumal od r. 1952 při vysokých energiích protonů od 460 do 660 MeV. Po prvé byla objevena ostrá anisotropie v rozptylu protonů.

Současně se studiem rozptylu protonů na protonech se na sovětském synchrocyclotronu systematicky zkoumal rozptyl neutronů na protonech v oblasti energií od 380 do 580 MeV. Na základě rozmanitých pokusů bylo zjištěno, že jaderná interakce mezi jakýmikoli dvojicemi nukleonů je při vysokých energiích velmi silná.

Na sovětském synchrocyclotronu byly po prvé provedeny obtížné pokusy s rozptylem neutronů na neutronech.

Pravděpodobnost takových interakcí jako je rozptyl, vznik částic atd. se v jaderné fyzice charakterizuje jako „účinný průřez“. Pro názornost si představte nukleon ve tvaru terče o ploše průřezu σ , takže každá částice, která dopadne na tento terč, bude s nukleonem na sebe vzájemně působit. Účinný průřez, který je mírou pravděpodobnosti jaderných reakcí, se však nesmí zaměňovat se skutečnou (geometrickou) plochou průřezu: může být jak menší tak i větší než geometrický průřez.

Výsledky měření ukazují, že účinné průřezy pro rozptyl neutronů na neutronech se rovnají účinným průřezům pro rozptyl protonů na protonech při téže energii. Shodnost účinných průřezů ukazuje, že zákony interakce neutronů s neutrony se neliší od interakce protonů s protony, a to je bezprostřední důkaz o nábojové symetrii jaderných sil, jak bylo již řečeno výše.

V současné době se v Laboratoři jaderného výzkumu zkoumá interakce polarisovaného svazku nukleonů. Tato zkoumání podávají další informace o interakci nukleonů s nukleony, podobně jako výzkum rozštěpení spektrálních linií v magnetickém poli dává doplňkové údaje o stavbě atomů.

Při energiích vyšších než 300 MeV je rozptyl nukleonů nepružný, to znamená, že srážka nukleonů je doprovázena vznikem mesonů π . Mesony π mají při interakci nukleonů právě takový význam, jako fotony při interakci dvou elektronů. Podle nejnovějších teoretických poznatků jsou nukleony spojeny v jádře tak, že jedna částice vyzařuje meson π a druhá ho pohlcuje. Studium vlastností mesonů π a jejich interakce s nukleony a jádry má tedy bezprostřední vztah ke zkoumání jaderných sil.

Intenzivní vznik mesonů π při srážce nukleonů s nukleony má za následek ostrou změnu úhlového rozložení rozptýlených nukleonů, což dokazují sovětsí fyzikové svými pokusy na synchrocyclotronu v rozsahu energií 460 až 660 MeV.

Existují jak nabitě mesony (π^+ a π^-), tak mesony bez náboje (π^0). Jejich hlavní vlastnosti jsou si velmi podobné. Opomeneme-li elektrické vlastnosti, které jsou důležité jen při zkoumání pomalých mesonů, jsou si velmi podobné procesy vzniku mesonů π a procesy jejich rozptylu nukleony a jádry. Podob-

nost v chování mesonů π vedla k rozšíření principu nábojové nezávislosti na interakci mesonů π s nukleony.

Z atomové fyziky víme, že prozkoumáním spekter fotonů elektromagnetického pole byl položen základ k poznání hlavních zákonitostí atomové fyziky. Je proto pochopitelný zájem, se kterým vědci různých zemí zkoumají vznik mesonů, které jsou určitou obdobou fotonů jaderných polí. Na synchrocyclotronu Spojeného ústavu jaderného výzkumu byl vznik mesonů π pečlivě zkoumán početnými skupinami vědců, kteří pracovali podle nejnovějších metod. Zkoumaly se jak nabitě, tak i neutrální mesony. V provedených experimentech byla stanovena řada vlastností mesonů π a získány nové doklady o interakci mesonů s nukleony a nukleonů s nukleony. Bylo však zjištěno, že studovaný předmět — jaderné síly — jsou značně složitější, než síly v atomech. Potíže jsou tím složitější, že současná jaderná fyzika ještě nevytvořila kvantitativní teorii jaderných sil. Před pracovníky Laboratoře jaderného výzkumu je velmi zajímavý úkol — studium vzniku mesonů polarizovanými nukleony. Těmito studiemi budou získány důležité údaje o interakci mesonů a nukleonů.

Dalším výsledkem studia zákonů interakce nukleonů vysokých energií a vzniku mesonů bylo potvrzení nábojové symetrie jaderných sil i v jiných procesech. Jedním z nejnáléhavějších úkolů výzkumu s pomocí synchrocyclotronu je bezprostřední prověření nábojové nezávislosti jaderných sil.

Středem pozornosti experimentálních výzkumů posledních let je rozptyl mesonů π na nukleonech. Souhrn poznatků, získaných Fermim a jeho spolu-

pracovníky v rozmezí energií do 200 MeV potvrdil hypotézu nábojové nezávislosti a mimo toho přinesl důležité údaje o charakteru interakce mesonů s nukleony. V pracích sovětských fyziků byla zkoumaná oblast energií zvýšena do 400 MeV pro záporné mesony a do 300 MeV pro kladné mesony.

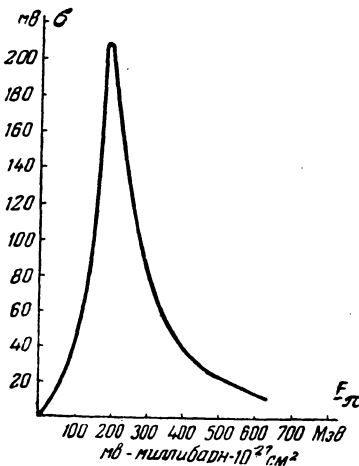
Bylo zjištěno, že interakce mesonů s nukleony je neobyčejně silná a velmi krátkodobá. Nejvýraznější zvláštností interakce mesonů s nukleony je to, že účinný průřez rozptylu mesonů na nukleonech rychle roste s růstem energie interakce a přechází přes maximum (obr. 2).

Výsledky studia sovětských vědců potvrdily, že maximum účinného průřezu je kolem 190 MeV; bylo stanoveno, že poloměr vzájemného působení meson-nukleonové interakce je kolem $7 \cdot 10^{-14}$ cm.

Analýsa všech údajů ukazuje, že interakce mesonu π s nukleonem je zvláště silná v jednom stavu s momentem $I = 3/2$; vzdáleně to připomíná rozptyl neutronů na jádru, když část

neutronů se zachycuje na hladině jádra. Je možné, že se zde setkáváme se zjevem určité „resonance“. Resonanční hladina může odpovídat vzbuzenému stavu nukleonu, ač to nelze v současné době tvrdit.

Druhým vážným problémem je studium vzniku několika mesonů při jedné srážce. Lze předpokládat, že např. při studiu vzniku dvojice mesonů π je možno



Obr. 2. Graf závislosti průřezu rozptylu mesonů π na nukleonech na energii mesonů π .

mb — миллибарн $\cdot 10^{-27}$ cm² — mb
— milibarn $\cdot 10^{-27}$ cm², Мэв — MeV

nedaleko od energetického prahu jeho vzniku získat údaje o interakci mesonů.

Synchrocyclotron Spojeného ústavu je jedním z nejlepších „zdrojů“ mesonů π na světě. Dává svazek mesonů π o energii 300 MeV a hustotě do 1600 částic/cm² za sec. a svazek mesonů π o energii do 400 MeV o hustotě do 500 částic/cm² za sec. V Laboratoři jaderného výzkumu byly nedávno provedeny první pokusy pro studium vzniku mesonů při srážce mesonů s nukleony.

Mimořádně zajímavé bude stadium interakcí mesonů s nukleony a nukleonů s nukleony při energii až do 10 BeV.

„Podivné částice“. Takřka současně s objevením a studiem mesonů π byla do knihy pozoruhodných objevů fyziky nadepsána i kapitola o jiných nestabilních částicích, dosud ještě málo prozkoumaných, o tak zvaných částicích K . Na rozdíl od mesonů π , které jsou přibližně 280krát těžší než elektron, je hmota částic K přibližně 1000krát větší než hmota elektronu. Jako takřka všechny částice, tak i mezery K zanechaly první stopu po sobě na snímku získaném při zkoumání kosmického záření. Současně s mesony K byly objeveny nestabilní částice o hmotě větší než hmota protonů — „hyperony“.

Téměř právě tak, jako tomu bylo s mesony π , bylo detailní zkoumání vlastností nových částic umožněno až v laboratorních podmínkách za pomoci obrovských urychlovačů, kterými je možno uměle získávat tyto částice. Avšak proto, že hmota částic K a zvláště pak hmota hyperonů je značně větší než hmota mesonů π , bylo zapotřebí pro uskutečnění pokusů se vznikem těchto částic takových urychlovačů, které by daly částicím energii ne již jen ve stovkách MeV, nýbrž v miliardách elektronvoltů.

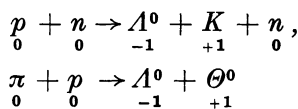
Nové nestabilní částice — mesony K a hyperony se často nazývají „zvláštní“ částice: v jejich chování a vlastnostech je totiž mnoho neobvyklého.

Je např. známo, že následkem interakce mesonu π s protonem vzniká značné množství neutrálních částic Λ^0 . Je to rychlý proces, probíhající v době 10^{-22} — 10^{-23} sec. Podle všeobecných zákonů fyziky se předpokládalo, že zpětný proces — rozpad částice Λ^0 na záporný meson π^- a proton — bude probíhat právě tak rychle, tj. během 10^{-22} — 10^{-23} sec. Avšak experimenty ukazují, že doba trvání života částice Λ^0 je $3 \cdot 10^{-10}$ sec.

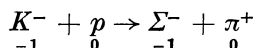
Zvláštní je také to, že při pokusech, provedených v USA na urychlovači s částicemi, jejichž energie dosahovaly kolem 450 MeV, i v Ústavu jaderného výzkumu s protony o energii kolem 680 MeV, se neuskutečnil vznik dvou částic Λ^0 při srážce dvou neutronů.

Ukázalo se, že při objasnění těchto jevů byla velmi plodná snaha rozšířit představu o nábojové nezávislosti na mesony K a hyperony. Hlavní znaky této představy se podařilo zformulovat jako zákon zachování „podivnosti“: 1. Každé částici se připisuje nové kvantové číslo, nazvané „podivnost“ (stranost, *strangeness*). 2. V „silných“ procesech, probíhajících s velkou pravděpodobností, takových jako procesy vzniku částic, se musí zachovávat součty čísel „podivnosti“ před reakcí i po reakci.

Z tohoto hlediska je vytvoření jednotlivých „podivných“ částic vyloučeno. Avšak zákon o zachování „podivnosti“ připouští intenzivní vznik dvojic „podivných“ částic, např. podle těchto schemat:

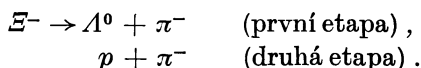


Objevení vzniku „podivných“ částic v takových reakcích bylo dobrým experimentálním důkazem zákona zachování „podivnosti“. Mimo jiné napovídá velkou pravděpodobnost přeměny jedné „podivných“ částic v druhé, např. podle schématu:



Tyto a jiné podobné reakce budou zkoumány na 10-miliardovém synchrotrone pro získání hyperonů a jejich studium.

Zároveň se schématem, na kterém se studuje chování hyperonů na základě zachování „podivnosti“, se v současné době posuzují představy o hyperonech jako o zvláštních vzbuzených stavech neutronů a protonů. Z tohoto hlediska vzbuzuje vyjímečnou pozornost studium vlastností jedné z nejzajímavějších částic, která nese název „kaskádní“ částice Ξ , protože se rozpadá ve dvou etapách:



Částice Ξ byla pozorována na celém světě dosud jen několikrát, protože pravděpodobnost vzniku částic Ξ je velmi malá.

Ve Spojeném ústavu budou učiněny pokusy objevit i jiné, ještě těžší „kaskádní“ hyperony. Další pozorovací kaskádních hyperonů dovolí odpovědět na otázku, je-li hyperon „skutečnou“ elementární částicí, nebo má-li být považován jen za určitým způsobem „zamrzlý“ vzbuzený stav nukleonu.

Mesony μ . Mezi rozmanitostí mesonů zaujímají zvláštní místo mesony μ , — částice, které jsou 210krát těžší než elektron. Vznikají při rozpadu těžších mesonů π a K a podle dnešních představ nejsou nositeli jaderných sil. Mesony μ žijí dvě miliontiny vteřiny a pak se opět ony samy rozpadají na elektron a dvě neutrina. Poslední měsíce v rozvoji jaderné fyziky jsou charakterisovány zvýšeným zájmem o studium interakce mesonů μ . V dřívějších výzkumech bylo objeveno, že mesony μ při interakci s jádry vytvářejí mesoatomy, tj. atomy, ve kterých kolem jádra obíhají místo elektronů záporně nabitě mesony. Ukázalo se, že dráha mesonů okolo jádra je podřízena téměř zákonům, jako dráha elektronů v obyčejných atomech s tím rozdílem, že poloměry oběžných drah mesoatomů jsou značně menší než poloměry oběžných drah elektronů, takže v těžkých mesoatomech prochází oběžná dráha mesonu jádrem. Elektrické pole jádra je při tom značně oslabeno a následkem toho se může „malíčkový“ mesoatom přiblížit k druhým jádrům na tak malou vzdálenost, při které už je možná jaderná reakce. Tento jev teoreticky předpověděl před několika lety sovětský vědec J. B. Zeldovič a začátkem r. 1957 americký fyzik Alvarez pozoroval spojení dvou atomů vodíku v jeden atom helia při teplotě -200°C . Pozorování byla provedena ve vodíkové bublinové komoře. Atom, kde místo elektronu byl meson μ a kde jádrem byl deuteron, se slučoval s atomem obyčejného vodíku s vytvořením jádra helia He^3 a uvolněním energie 5,4 MeV. Při této reakci se mesony μ uvolňovaly a pokračovaly ve své dráze jako volné částice. Tento jev připomíná to, čemu chemikové říkají katalýsa. Meson působí jako prostředek, vyvolává jadernou reakci, a pak pokračuje ve své dráze bez jakékoli své vlastní změny, a při tom ještě někdy vyvolává i další jaderné reakce.

V posledních letech byla obrácena hlavní pozornost fyziků, zabývajících se studiem interakcí elementárních částic, na mesony π a nukleony. Ve vědec-

kých časopisech ve všech zemích bylo publikováno velké množství vědeckých prací na toto tema. Studium vlastností interakce mesonů μ zaujímal až doposud jen skrovné místo. To je v mnohém spojeno s nedostatkem zdrojů mesonů μ . Jedním z nejlepších zdrojů mesonů μ ve světě je synchrocyclotron Spojeného ústavu. V současné době se tam konají velké práce s mesony μ .

Mimo toho, co už bylo řečeno, je pozornost k mesonům μ obrácena v poslední době i pro důležité a neočekávané okolnosti, které jsou spojeny s nezachováním parity při rozpadech částic.

Pochybnosti o správnosti zákona o zachování parity se objevily teprve nedávno ve spojitosti s výsledky pozorování rozpadů částic K . V současné době je bezpečně známo 5 typů rozpadů částic K , při kterých se tyto částice přeměňují v druhé částice. Analýza dvou těchto typů, při kterých se částice K rozpadají na 2 respektive 3 mesony π ukázala, že existují jakoby dva druhy částic K s různou paritou. Na druhé straně řada jiných vlastností částic K ukazovala na to, že rozličné typy rozpadů patří jedné částici. Při této analýze se předpokládalo, že v současné době uznané zákony o zachování energie, impulsu, momentu hybnosti a parity jsou správné.

Zákony o zachování tvoří základ současné fyziky. Na základě fyziky je postavena představa o homogenitě (stejnorodosti) času a prostoru.

Zákon o zachování energie vyplývá z homogenity času, a zachování momentů hybnosti vyplývá z homogenity prostoru. (Podrobněji viz „Příroda“ 1957, č. 5, s. 5—10.) Všechny směry v prostoru je možno obrátit zpět a pohyb se nezmění. Na tomto tvrzení je vybudován zákon o zachování parity.

Kritická analýza zákona zachování parity byla provedena asi před rokem čínskými teoretiky Leeem a Yangem, kteří pracují v USA. Tito vědci poukázali na řadu jevů, jejichž výzkum by mohl přímo řešit otázku o zrcadlové symetrii přírodních jevů. Akademik L. D. Landau a nezávisle na něm Lee a Yang ukázali cestu z vytvořené těžké situace. Od vytvoření Diracovy teorie — mimo stejnorodosti prostoru a času — fyzikové poznali neměnnost přírodních jevů při přechodu od částic k antičásticím. (Výměna nábojů.) Landau předpokládal, že asymetrie netkví v prostoru, nýbrž v částicích; že totiž při rozpadech částic se odděleně nezachovává ani parita, ani nábojová konjugace, nýbrž pouze jejich kombinace — kombinovaná parita.

Nejdůležitějším úkolem je nyní intenzivní studium tak zvané slabé interakce, která působí rozpad částic. Urychlovače které dávají možnost získat částice K a hyperony, pomohou s konečnou platností objasnit otázku o nezachování parity při rozpadu těchto částic.

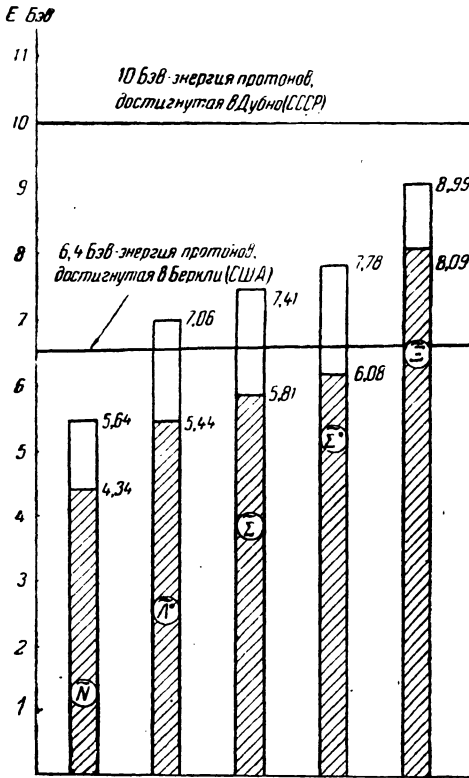
Antičástice. Z toho co se očekává od pozorování na obrovských urychlovačích, je takřka nejzajímavější vznik antičástic a studium jejich vlastností.

V poslední době bylo objeveno mnoho částic nových, avšak ne všechny objevy byly pro vědu neočekávané. Fyzikální teorie byla schopna předpovědět nejen samu existenci, nýbrž i vlastnosti dříve neznámých částic, čímž bylo značně ulehčeno jejich experimentální objevení.

Až dosud byl bevatron v USA jediným zdrojem, kde se získávaly a studovaly antinukleony. Se spuštěním ještě mohutnějšího urychlovače — synchro-fázotronu Spojeného ústavu jaderného výzkumu — se dostalo světové vědě ještě širších možností ke studiu vlastností antičástic.

Na bevatronu převyšuje energie urychlených protonů jen nepatrně energetický práh vzniku antinukleonů, kdežto na synchro-fázotronu je toto převýšení značně vyšší. A protože se účinný průřez pro vznik antinukleonů silně zvětšuje

s.růstem energie dopadajících protonů, dovolí tato přednost v energii získávat značně intensivnější svazek antičástic. Je zcela přirozené, že studium vlastností antinukleonů, charakteru jejich interakce s hmotou, zaujímá významné místo v plánech výzkumných prací na tomto největším urychlovači na světě. Tak jako všechny nově objevené částice, tak i antinukleony skrývají v sobě ještě mnoho záhadného. Tak na př. je z hlediska nynějších představ nepochopitelný anomálně velký účinný průřez pro anihilaci antiprotonu. Jak ukázala měření,



provedená na bevatronu, je průřez anihilace antiprotonu o energii několika set MeV asi 2krát větší než geometrický průřez. To znamená, že se antiproton anihiluje v určité vzdálenosti s nukleonem, aniž by došlo k bezprostřednímu doteku. Objasnění podstaty tohoto zajímavého jevu je velmi významnou otázkou.

V současné době se předpokládá, že rozpad všech částic na částice a antičástice je jedním z nejvšeobecnějších přírodních zákonů. Podle této představy mají všechny částice jakoby dva protikladné „nábojové stavy“. Proto lze očekávat, že vedle obyčejných hyperonů existují také antihyperony, které mají stejnou hmotu a spin jako hyperony.

Obr. 3. Schema energetických prahových hodnot pro vznik antičástic v interakcích nukleon-nukleon. Šrafované jsou vyznačeny prahy pro vznik antičástic při interakcích nukleonů vázaných v jádru. N je společný znak pro proton a neutron. БэВ — BeV, 10 БэВ — энергия протонов, достигнутая в Дубне (СССР) — 10 BeV — energie protonů, dosažená v Dubně (SSSR), — 6,4 БэВ — энергия протонов, достигнутая в Беркли (США) — 6,4 BeV — energie protonů, dosažená v Berkeley (USA).

Ke vzniku antihyperonů je zapotřebí větší energie než ke vzniku antinukleonů, což se vysvětluje rozdílem hmoty těchto částic. Na obr. 3 jsou uvedeny energetické prahy některých reakcí vzniku antihyperonů pomocí svazku urychlených protonů.

Srovnání těchto energetických prahů s maximálními energiemi protonů, které je možno získat na soudobých urychlovačích, ukazuje, že k reakci dochází na souhraní energetických možností bevatronu (6,2 BeV). Při tom maximální energie protonů, kterou dává synchrotrón Spojeného ústavu značně převyšuje prahy pro vzniky všech předpokládaných antihyperonů, včetně kaskádního antihyperonu Ξ. Antihyperony mohou být získány i při reakcích, ve kterých jsou bombardujícími částicemi „druhotné“ mesony π nebo K, a dokonce i antiprotony. Energetický práh těchto reakcí je nižší než u reakcí zaznamenaných na schematu. Avšak maximální energie a inten-

sita „druhotných“ částic, které jsou získávány na vnitřním terči urychlovače, je mnohem nižší než energie a intenzita prvotního protonového toku. Tato okolnost značně ztěžuje využití těchto reakcí k získání většího počtu antičástic.

Spuštěním synchrotrónu na 10 BeV se vědcům dostalo reálné možnosti objevit antihyperony a studovat jejich vlastnosti.

* * *

Žádná věda se nerozvíjela tak bouřlivě, jako se rozvíjí věda o atomovém jádru a o vlastnostech částic.

Ještě docela nedávno byla jaderná fyzika vědou, která byla velmi vzdálena od života a od praktických potřeb lidstva. Stali jsme se svědky toho, jak v pouhých 15–20 letech vyšla jaderná fyzika z malých kabinetů a laboratoří na širokou cestu průmyslového rozvoje. Úspěchy, kterých dosud jaderná energetika dosáhla, byly podmíněny mravenčí prací vědců, studujících vlastnosti atomových jader.

Přes veliké úsilí fyziků všech zemí se dosud nepodařilo získat vyčerpávající doklady o interakci mezi elementárními částicemi. Řešení tohoto problému bude vyžadovat další shromažďování experimentálních údajů a rozvoj teoretických představ. Pro další rozvoj vědy je zapotřebí prohloubit znalosti o stavbě jádra a částic, které ho tvoří a je nutno odhalit nové zákonitosti mikrokosmu.

Spojený ústav pro jaderný výzkum je největším mezinárodním střediskem, ve kterém se soustřeďují poznatky, které byly člověku ještě nedávno zcela neznámé. Mnoho bylo už vykonáno, avšak to je pouze počátek plodné práce. Tyto výzkumy velkého kolektivu vědců mnoha zemí slouží k blahu všeho lidstva.

Přeložil B. Slavík

VÝZKUM POLOVODIČŮ V SOVĚTSKÉM SVAZU*)

Akademik A. F. JOFFE

V roce 1927 byly objeveny první pevné kuproxové usměřňovače střídavého proudu. Po krátké době bylo zjištěno, že analogicky vyrobené destičky kuproxu dávají po osvětlení vznik elektrickému proudu. Tato fakta upoutala pozornost fyziků k vlastnostem polovodičů, které jsou příčinou nejen těchto jevů, a k řadě dalších.

Ve stejné době byl zahájen i výzkum polovodičů v SSSR. Iniciátory tohoto výzkumu byli K. D. Sinělnikov a I. V. Kurčatov, a na Ukrajině A. G. Goldman. Systematické všestranné studium polovodičů bylo zahájeno na konci dvacátých let v Leningradském fyzikálně-technickém institutu a v Kijevě v Institutu fyziky Akademie věd USSR. Zpočátku byla teorie a praxe fyzikální laboratoře a závody těsně spjaty. V tomto spojení bylo uspořádáno 7 sjezdů, které se sešly v Leningradě, Kyjevě a Oděse. Provedenými pokusy se zlepšilo

*) A. Ф. Иоффе, *Исследования полупроводников в Советском Союзе*, *Успехи физ. наук*, sv. LXII (1957), č. 3.