

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 25 (1997/1998)

Številka 2

Strani 86–91

Janez Strnad:

PETDESET LET PIONA

Ključne besede: novice, fizika, zgradba atoma, atomska jedra, me-
zoni, pioni.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/25/1330-Strnad.pdf>

© 1997 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

PETDESET LET PIONA

Petdesetletnica je manj okrogla kot stoletnica in elektron, katerega stoletnico smo nedavno zabeležili, velja še danes za osnovni delec, pion pa ne več. Vseeno je zgodba o odkritju piona pred petdesetimi leti tako zanimiva, da jo je vredno omeniti.

S tedanjimi pospeševalniki za naelektrene delce so raziskovali atomska jedra, niso pa še mogli raziskovati delcev. Nove delce so odkrivali v *kozmičnih žarkih*. Na vrh zemeljskega ozračja prihajajo naelektreni delci z veliko kinetično energijo, ki bi jim lahko rekli galaktični delci, ker izvirajo iz naše Galaksije. Sestavljajo jih ioni, to so atomi, ki so izgubili elektrone. Največ je vodikovih ionov, *protonov*. Ionov je tem manj, čim večja je njihova masa. Hitri ioni trčijo z jedri atomov v vrhnjih plasteh ozračja in pri tem nastanejo delci in elektromagnetno sevanje z zelo majhno valovno dolžino, kar sestavlja *sekundarne kozmične žarke*. Sekundarni kozmični žarki prihajajo v *plazovih*. Nekateri delci v plazmu razpadejo ali se zaustavijo v ozračju, nekaj jih doseže površje Zemlje.

Te delce so tedaj večinoma zaznavali z *meglično celico*. V njej so hitro razpeli vlažni plin, da se je ohladil. V nastalem prenasičeno vlažnem plinu so se izločile prve kapljice vode na elektronih in ionih, ki jih je na svoji poti iz molekul plina naredil hitri naelektreni delec. Na fotografiji so kapljice dale vidno sled, ki je kazala pot delca. Posebno zanimive so bile fotografije, na katerih je bilo mogoče videti, kako je kak delec nastal ali razpadel ali trčil z atomskim jedrom in dal *zvezdo* delcev, ki so odleteli na vse strani. Vendar so bile fotografije takih dogodkov izredno redke. Na slepo je bilo treba velikokrat razpeti celico in fotografirati, preden so po naključju naleteli na fotografijo zanimivega dogodka. Zato so okoli celice namestili plinske števce in poskrbeli, da so sunki napetosti, s katerimi so se ti odzvali na prelet naelektrenih delcev, sprožili celico. Pri tem je delovala naprava tako, da se je celica sprožila, če so nekateri števci zaznali delce iz plazmu in jih drugi niso. Tako niso več na slepo razpenjali celice in fotografirali na prazno.

Z meglično celico so leta 1932 odkrili pozitivni elektron ali pozitron, antidelec elektrona. Z meglično celico, ki so jo prožili števci, so naslednjega leta opazovali nastanek parov elektron-pozitron. Na podoben način so leta 1936 odkrili pozitivne in negativne delce po masi med elektronom in protonom. V meglični celici ni bilo mogoče opaziti njihovega nastanka in razpada, ker so v plinu preleteli več sto metrov. V gostejši snovi pa bi to ne bilo nemogoče, saj bi v njej mion prepotoval precej krajšo pot. Toda, kako bi opazovali pot teh delcev? V posebnem primeru je to mogoče,

namreč v fotografski emulziji, v kateri so zrnca srebrovega bromida porazdeljena po tanki plasti želatine. Naelektreni delec, ki leti skozi zrnca, naredi v njem elektrone in ione. Nekateri elektroni se zopet združijo z ioni, vsi pa ne, tako da nekatera zrnca ostanejo prizadeta. Ta zrnca se v razvijalcu spremenijo v kepe drobnih delcev srebra, ki so videti črni. Pod mikroskopom je mogoče v razviti emulziji na poti hitrega naelektrenega delca videti črna zrnca.

Dve dunajski fizičarki sta leta 1937 za pet mesecev izpostavili fotografske plošče na višini 2300 metrov, na kateri je več kozmičnih žarkov kot pri tleh. Po razvitju sta v emulziji opazili sledi protonov in zvezde. Tedaj je delal na fizikalnem inštitutu v Bristolu Cecil Powell, ki je bil prej podiplomski študent v Cambridgeu pri C. T. R. Wilsonu, odkritelju meglične celice. (C. T. R. Wilson je nekdanji sodelovalec z Josephom Johnom Thomsonom, odkriteljem elektrona.) Na obisku v Bristolu je leta 1938 švicarski teoretični fizik Walter Heitler omenil Powellu dunajske fotografske plošče. Na Powellovo prošnjo je Heitler skladovnico plošč tovarne Ilford z 0,07 milimetra debelo emulzijo izpostavil v švicarskih Alpah na višini 3500 metrov. Pokazalo se je, da je bilo mogoče v teh ploščah pod mikroskopom opazovati sledi protonov in delcev α , to je helijevih ionov, z majhno kinetično energijo. O tem sta Heitler in Powell leta 1939 objavila kratek članek v londonski reviji Nature.

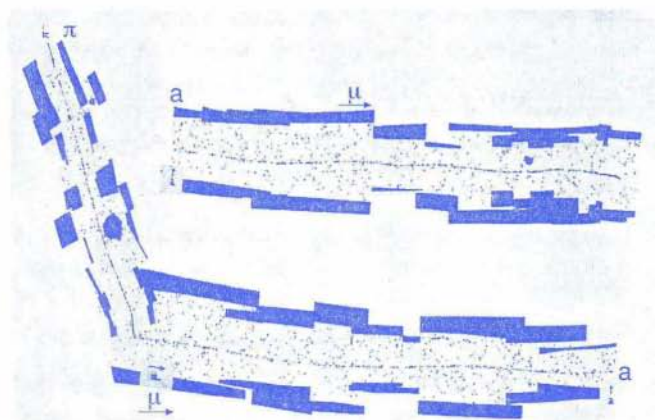
Powell se je že tedaj zavedal, da je treba povečati gostoto zrnca v emulziji, ki naj bi jo uporabili za zaznavanje hitrih naelektrenih delcev. Prepričal se je tudi, da je fotografska emulzija za raziskovanje trkov boljša kot meglična celica. Toda vojna je prekinila delo. Po vojni je Powellov nekdanji kolega iz Cambridgea Patrick Blackett s svojim vplivom v angleški vladi prispeval k ustanovitvi dveh odborov. Eden od njih je imel na skrbi razvoj občutljivih fotografskih emulzij za zaznavanje naelektrenih delcev. Blacket je leta 1933 v Cambridgeu z Italijanom Giuseppejem Occhialinijem izdelal meglično celico, ki so jo prožili števci. Z njo sta opazovala nastanek parov elektron-pozitron, kar smo omenili v uvodu. Še pred koncem vojne je povabil v Anglijo Occhialinija, ki je bil tedaj v Braziliji. (Za tujega državljanca pa ni bilo druge možnosti, kot da se je priključil Powellu v Bristolu pri delu s fotografsko emulzijo.) Leta 1946 se jima je pridružil še Occhialinijev nekdanji podiplomski študent Cesare Lattes. Tovarna Ilford je istega leta izdelala "jedrske raziskovalne emulzije". Nekateri izmed njih so uporabili na letalu, ki se je dvignilo do višine 9000 metrov, druge pa je Occhialini odnesel v francoske Pireneje na višino čez 2800 metrov. (Pri tem mu je prišlo prav, da je bil v Braziliji gorski vodnik.)

Plošče so dale bogato žetev. Powell je pozneje zapisal, da je opazovanje teh plošč v Londonu in Bristolu razkrilo čisto nov svet. "Bilo je, kot da bi nenadoma dospeli v ograjen sadovnjak, v katerem so uspevala zaščitena drevesa in so na njih dozoreli v velikem obilju eksotični sadeži." V Bristolu je bil Occhialini z vnemo pri delu: "po sedem dni na teden do dveh, včasih do štirih zjutraj ob nenavadno močni kavi". Delo je bilo zelo zamudno. Pod mikroskopom je bilo treba preiskati emulzijo, najti sledi delcev in jih zasledovati.

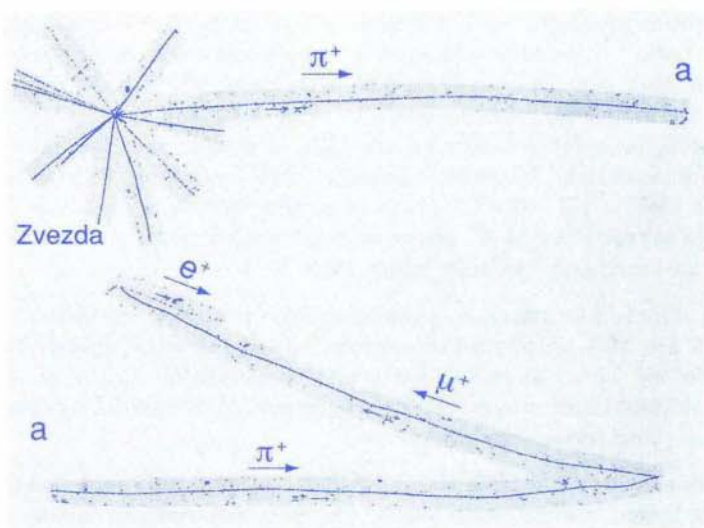
Sledi mezonov, kakor so imenovali vse delce z večjo maso od elektrona in manjšo od protona, so bile zavite in v njej se je gostota zrnc spreminjala z razdaljo, ker se je hitrost mezona manjšala. Tako so jih brez večjih težav razločevali od sledi protonov. Na začetku 1947 sta Occhialini in Powell poročala o šestih zvezdah. Opazili so tudi mezon, ki se je zaustavil, razpadel na drug mezon in ušel iz emulzije. Pri drugem podobnem dogodku se je tudi drugi mezon zaustavil in razpadel po 0,61 milimetra dolgi poti v emulziji. Lattes, Hugh Muirhead, ki je bil Powellov podiplomski študent, Occhialini in Powell so to objavili maja 1947 v *Nature*.

Nekaj časa niso opazili nobenega dogodka z dvema mezonoma. Zato so poslali Lattesa s ploščami v kolumbijske Ande na višino 5200 metrov. V ploščah iz Kolumbije so naleteli še na deset dogodkov s po dvema zaporednima razpadoma mezonov. Zdaj niso več dvomili v obstoj dveh vrst mezonov. Oktobra 1947 so Lattes, Occhialini in Powell v *Nature* zagotovili, da se prvi mezon, ki so ga imenovali mezon π ali pion, v emulziji zaustavi in razpade na dva delca, od katerih je eden delec μ ali mion (slika 1, 2). Drugi delec je namreč v vseh primerih prepotoval v plošči razdaljo okoli 0,6 milimetra. Po sledih so določili, da imata pion 260 ± 30 elektronskih mas in mion 205 ± 20 elektronskih mas. Današnja podatka sta 273,31 in 206,76. Leta 1950 so se prepričali, da poleg naelektrenih pionov, ki v emulziji puščajo sledi, nastane tudi nevtralni pion, ki ne pušča sledi. Tedaj so že imeli dovolj zmogljiv pospeševalnik, da so ustvarili nevtralne pione.

Ugotovili so, da približno toliko pionov obtiči v jedrih in povzroči nastanek zvezd, kot jih razpade na mione. To so pojasnili takole: negativni pion pritegne jedro s svojim nabojem in v jedru povzroči nastanek zvezde. Negativnega pionu jedra ne pritegnejo in prost razpade na mion. Pioni veliko močneje kot mioni delujejo na jedra z močno jedrsko silo. Mioni pa delujejo le na naelektrene delce zaradi svojega električnega naboja. Danes vemo, da so pioni najlažji delci, zmožni močne jedrske sile, in da so sestavljeni. Mioni pa so podobni elektronom in so osnovni delci.



Slika 1. Razpad piona in miona v fotografski emulziji. Sliko so sestavili iz velikega dela odsekov, posnetih skozi mikroskop. Pion je prišel od leve zgoraj, mion, ki je nastal pri razpadu, se je gibal proti desni. Njegova pot s spodnjega dela slike se v točki *a* nadaljuje na zgornjem delu in je v celoti dolga okoli 0,6 milimetra. Fotografija je iz članka C. M. G. Lattes, G. .P. S. Occhialinija in C. F. Powella v Nature oktobra 1947.



Slika 2. Hitri delec je pri trku z jedrom v fotografski emulziji dal zvezdo. Goste sledi so zapustili protoni. Nastal je tudi pozitivni pion, ki je razpadel na mion in ta na pozitron. Slika je razdeljena na dva dela, pot piona se nadaljuje v točki *a*. Imenitno sliko so dobili v Bristolu leta 1948 z občutljivejšo emulzijo, v kateri je bilo mogoče opaziti tudi sledi elektronov. Sled miona je v celoti dolga okoli 0,6 milimetra.

Powell je dobil Nobelovo nagrado iz fizike leta 1950 "za razvoj fotografske metode za raziskovanje jedrskih pojavov in za svoja odkritja o mezonih s to metodo". Occhialini je leta 1979 z Blackettom dobil Wolfovo nagrado za prispevek k odkritju nastanka parov mezonov in k odkritju piona. Blackett sam je dobil Nobelovo nagrado že leta 1948 "za razvoj Wilsonove meglične celice in za svoja odkritja z njo na področju jedrske fizike in kozmičnega sevanja".

Po tem se je težišče raziskovanja delcev preselilo v Ameriko in šele čez petintrideset let so nove delce zopet odkrili v Evropi. Meglične celice in fotografske emulzije pa že dolgo ne uporabljajo več.

Pospeševalniki. Pri trku delca z dano kinetično energijo z drugim delcem ne more nastati delec z lastno energijo, večjo od dane kinetične energije. Lastno energijo dobimo, ko maso pomnožimo s kvadratom svetlobne hitrosti. S ciklotroni, krožnimi pospeševalniki, v katerih je prečno magnetno polje ukrivilo pot delcev, so tedaj lahko pospešili vodikova jedra z lastno energijo 938 MeV le do kinetične energije nekaj več kot deset MeV. Z naraščajočo kinetično energijo se namreč poveča masa delca in ta pride prepozno med elektrodi, da bi ga pospešilo izmenično električno polje. S protoni s kinetično energijo do okoli deset MeV je bilo sicer mogoče uspešno raziskovati atomsko jedro. Toda taki izstrelki niso mogli roditi delcev z lastno energijo večjo kot okoli deset MeV. 1 MeV (megaelektronvolt) je kinetična energija, ki jo dobi mirujoč delec z enim osnovnim nabojem, ko preleti napetost 1 MV (megavolt, to je milijon voltov). $1 \text{ MeV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$. Lastna energija elektrona je 0,51 MeV, lastna energija miona 105,7 MeV, lastna energija naelektrjenih pionov 139,6 MeV in lastna energija nevtralnega piona 135,0 MeV.

S *sinhrociklotronom* so pospešili gruče protonov do kinetične energije več sto MeV. Med pospeševanjem, ko so protoni že dosegli kinetično energijo več MeV, so znižali frekvenco pospeševalne napetosti, kakor je ustrezalo povečanju mase. Ob sinhrociklotronu so naredili poskus z nevtralnimi pioni, ki smo ga omenili.

Mioni. Japonski fizik Hideki Yukawa je leta 1935 napovedal obstoj delca z lastno energijo med lastno energijo elektrona in lastno energijo protona. S tem delcem je želel pojasniti močno jedrsko silo, ki veže delce v atomska jedra. Zaradi vmesne mase so napovedani delec imenovali *mezon*. Yukawa je dobil Nobelovo nagrado leta 1949 "za napoved obstoja mezonov na podlagi teoretičnega dela o jedrskih silah". Leta 1937 so odkrili v kozmičnih žarkih delec z maso med elektronom in protonom. Mislili

so, da je to Yukawov mezotron, in ga zaznamovali z grško črko μ . Toda poskusi so razkrili, da na odkriti delec atomska jedra ne delujejo z močno jedrsko silo. To je spravilo fizike v zadrego. Zato so na Japonskem in v Združenih državah predlagali, da odkriti delec μ ni Yukawov delec, ampak da obstaja še drug mezon. Med vojno in v letih po vojni je bilo ponekod težko priti do revij ali pa so te prihajale z veliko zamudo, zato Američani leta 1947 niso vedeli za japonski predlog. Tudi po odkritju pionov so še nekaj časa govorili o mezonu μ . Čez čas se je uveljavilo mnenje, da je delec μ soroden elektronu in ga je treba imenovati mion. Miona razpadata takole

$$\begin{aligned}\mu^+ &\rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu, \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu.\end{aligned}$$

Miona razpadeta z razpolovnim časom $1,52 \cdot 10^{-6}$ sekunde. V razpolovnem času razpade polovica začetnega števila delcev. Z ν zaznamujemo nevtrino. Nevtrino z indeksom e je povezan z elektronom, nevtrino z indeksom μ z mionom, črtica nad simbolom zaznamuje antinevtrino.

Pioni. Naelektrena piona razpadeta takole:

$$\begin{aligned}\pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \\ \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu,\end{aligned}$$

nevtralni pion pa takole

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma.$$

Naelektrena piona razpadeta z razpolovnim časom $1,8 \cdot 10^{-8}$ sekunde in nevtralni pion z razpolovnim časom $5,7 \cdot 10^{-17}$ sekunde. γ zaznamuje foton, to je delec elektromagnetnega valovanja.

Pozitivni pion sestavljata kvark u in antikvark \bar{d} , negativnega pa kvark d in antikvark \bar{u} . Nevtralni pion sestavlja kombinacija kvarka in antikvarka: u in \bar{u} , d in \bar{d} ,...

Janez Strnad