

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 3 (1975/1976)

Številka 3

Strani 114-121

Janez Strnad:

O ZGRADBI SNOVI, II. del

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/3/3-3-Strnad.pdf>

© 1976 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2009 DMFA - založništvo

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



O ZGRADBI SNOVI

II. DEL

V prvem delu smo z zakonom o zgradbi snovi in z zakonom o zgradbi atoma napravili prva koraka pri proučevanju zgradbe snovi. Zdaj sta na vrsti tretji in četrti korak. Ta sta precej zahtevnejša in ju v podrobnostih razumemo šele na osnovi obsežnega znanja. Kljub temu poskusimo povedati nekaj ugotovitev, ne da bi nam šlo za globlje razumevanje. Pomagamo si z zvijačo: tretji in četrti korak napravimo, kot da bi ponovili prvega in drugega, le da izhajamo iz drugačnega izhodišča.

Na začetek postavimo *jedrsko snov*, iz katere so atomska jedra. To ni navadna snov, saj je pozitivno nabita in več stobilijonkrat gostejša. Atomska jedra so kapljice te snovi. Kot smo se vprašali po zgradbi navadne snovi, se vprašamo, iz česa je zgrajena jedrska snov? Kaj so njeni "atomi"? Prva zamisel o njih izvira pravzaprav že od W. Prouta (1815), ki je domneval, da so težji atomi zgrajeni iz atomov vodika. Atomske mase čistih izotopov so namreč zelo blizu celih števil, se pravi, blizu večkratnikov vodikove atomske mase. Prout je sklepal po atomskih masah naravnih elementov, pri katerih pa je za prejšnjo trditev veliko izjem. Zato zamisel ni bila prepričljiva, dokler niso spoznali, da so naravni elementi mešanice izotopov.

Eden izmed gradnikov jedrske snovi je torej najpreprostejše atomsko jedro, jedro vodikovega atoma ali *proton*. To je *osnovni delec*, ki ima atomsko maso blizu 1 in en pozitivni osnovni naboj. Težava je v tem, da je vrstno število Z , to je število protonov v jedru, manjše od *masnega števila* A , to je do celega števila zaokrožene atomske mase. Sprva so poskusili z zamisljijo, da je v jedru poleg A protonov še $A-Z$ elektronov. Toda kmalu so se zavedli, da elektronov ni mogoče stisniti v jedro. Električna sila, ki deluje nanje, jih lahko zadrži kvečjemu v desettisočkrat večjem atomu.

Težavo je premagal J. Chadwick z odkritjem *nevtrona* (1932). To je osnovni delec s približno enako maso kot proton, le da je brez naboja. (Nevtron je malo težji od protona. Proton je okoli 1836-krat, nevtron pa okoli 1839-krat težji od elektrona.) Ker je nevtron brez naboja, je bilo njegov obstoj težko dokazati. V jedru je poleg Z protonov še A-Z nevtronov.

Kot veže elektrone v atomu električna sila, mora neka sila vezati protone in nevtrone v jedru. To silo, ki deluje v enaki meri med protonom in protonom, med protonom in nevtronom ter med nevtronom in nevtronom, imenujemo *jedrsko* ali *močno silo*. Pri protonu in protonu se ji pridruži še električna odbojna sila. Jedrska sila je znatno močnejša od električne, saj premaga električno odbojno silo med protonoma. Segaja pa samo do zelo majhne razdalje, nekako tolikšne, kot je premer jedra ali celo do manjše.

Na koncu I. dela smo pojasnili silo med delcema z izmenjavanjem virtualnih kvantov. Če ostanemo pri tej sliki, moramo predvideti nove virtualne kvante, ki posredujejo močno silo. Izmenjavanje takih kvantov med protonom in protonom, protonom in nevtronom ter nevtronom in nevtronom povzroči močno silo. Pri reakcijah med osnovnimi delci pa lahko ti virtualni kvanti postanejo prosti delci, če je na razpolago dovolj energije. Majhne razdalje, do katerih sega močna sila, so posledica dejstva, da ti delci niso brez mase kot fotoni. Merjenja so pokazala, da je njihova masa med masama elektrona in protona, zato so jih imenovali *mezoni*. Najlažji mezon je *mezon π* ali *pion*, ki nastopa z enim pozitivnim ali z enim negativnim osnovnim nabojem, π^+ ali π^- , ali brez naboja, π^0 . Nabita piona sta okoli 273-krat težja od elektrona, nevtralni pion pa je okoli 264-krat težji od elektrona.

Tako smo spoznali že vse vrste osnovnih delcev:

foton je brez mase,

elektron štejemo med lahke delce - *leptone*,

mezoni imajo vmesne mase,

proton in nevtron pa štejemo med težke delce - *barione*.

Mezoni so enako kot barioni zmožni delovati na druge delce z močno silo. Barione in mezone skupaj štejemo k *hadronom*. Zdaj lahko izrečemo *zakon o zgradbi jedrske snovi*: Jedrsko snov sestavljajo hadroni. Hadroni so "atomi" jedrske snovi.

Od velikega števila hadronov je obstojen samo proton. Vsi drugi *razpadejo*, če so prosti. Pri tem je pomemben podatek *razpadni*

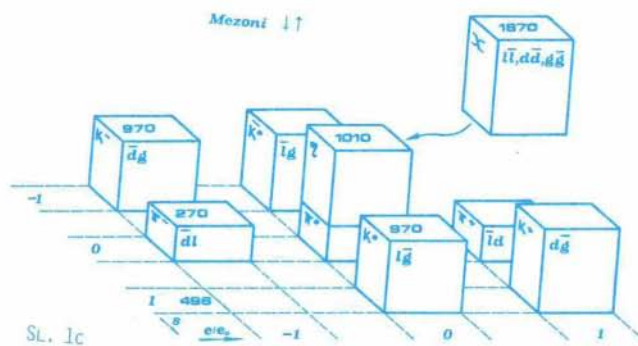
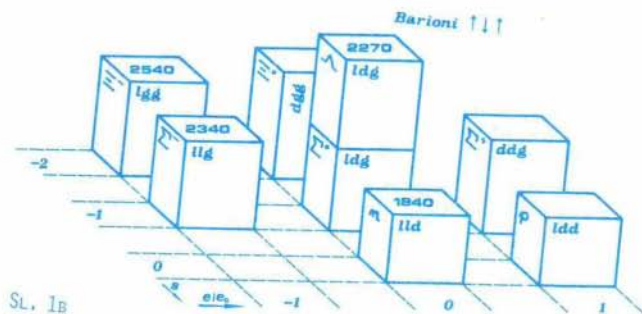
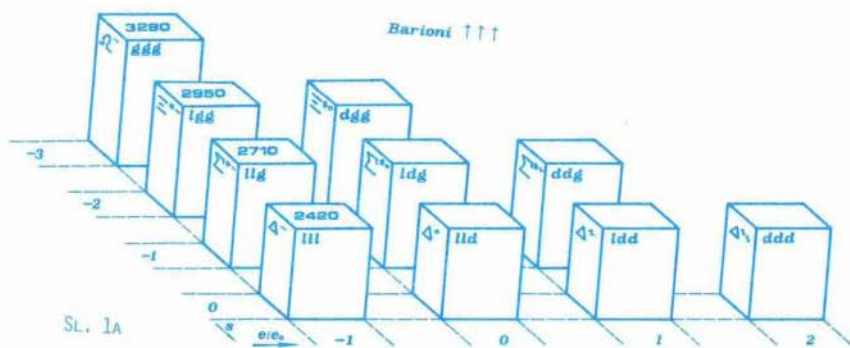
čas. To je povprečni čas, ki poteče med nastankom in razpadom delca. Razpadni čas prostega nevtrona je na primer okoli 17 minut, razpadni čas nabitih pionov nekaj stomilijonin sekunde, razpadni čas drugih hadronov pa je še manjši. Delce z razpadnim časom nad desetmilijardino sekunde imajo v teoriji hadronov za obstojne. To se sliši nenavadno, a za hadron je desetmilijardina sekunde kot za človeka več milijard let. Nekateri hadroni imajo še mnogo krajši razpadni čas, samo nekaj kvadrilijonin sekunde.

Ali je mogoče hadrone urediti v kakšno preglednico? Vsekakor je potrebnih zanje več podatkov kot za atome, katerih kemijske lastnosti so popolnoma določene z vrstnim številom. Hadrone označimo s podobnimi "hišnimi številkami", ki jim pravimo *kvantna števila*. Poleg njih je treba, podobno kot pri atomih, navesti še maso. Najprej je mogoče združiti hadrone, ki se ne razlikujejo glede močne sile v skupine - (*izospinske*) *multiplete*. (*Izospin* je kvantno število, ki je v zvezi z nabojem delcev, a se zanj tu ne bomo zanimali.) Člani istega multiplleta se razlikujejo le glede električne sile, to se pravi po naboju, in samo zelo malo po masi. Tako sestavljata na primer pozitivni proton in nevtralni nevtron *dvojček* (*dublet*) z imenom *nukleon*. Mezioni π^+ , π^0 , π^- pa sestavljajo *trojček* (*triplet*).

Take multiplete sta združila M.Gell-Mann in Y.Ne'eman v nekaj večjih skupin - *supermultipletov* (1962) (sl.1). Njun uspeh je mogoče primerjati z uspehom Mendelejeva. V Gell-Mannovi teoriji - *osmerne poti** - ponazorimo supermultiplete z diagrami, v katerih naneseemo na abscisno os naboj delca, merjen v osnovnih nabojih, na ordinatno os pa kvantno število *čudnost*. Čudnost delcev kakega multiplleta je določena s povprečnim nabojem članov tega multiplleta. Pri mezonih je čudnost enaka dvakratnemu povprečnemu naboju multiplleta, pri barionih pa je treba od dvakratnega povprečnega naboja multiplleta odšteti ena. Povprečni naboj pionov π^+ , π^0 in π^- je 0, tako da je čudnost pionov enaka nič. Povprečni naboj protona in nevtrona je $\frac{1}{2}$, dvakratna vrednost je 1 in čudnost $1 - 1 = 0$.

Kot je Mendelejev napovedal lastnosti germanija, sta M.Gell-Mann in S.Okubo v okviru osmerne poti napovedala lastnosti še neznanega mezona η in neznanega bariona Ω^- (1962). Za barion Ω^- sta

* V tej teoriji je pomembno število osem. Ime "osmerne poti" je prevzeto iz budizma, v katerem morajo gojiti menihi osem čednosti.

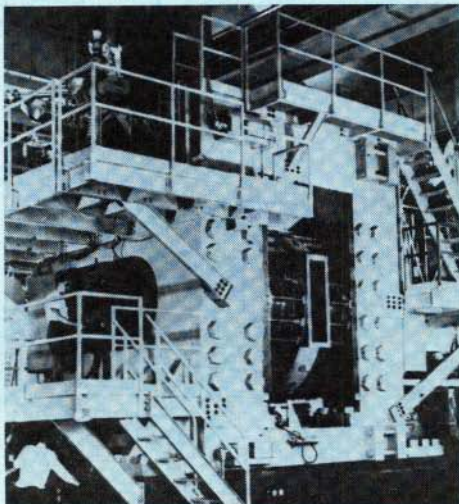


Sl.1 Supermultipleti hadronov po osmerni poti. Hadrone ponazarjajo hiše, kot so ponazarjale atome v 1.delu članka. Vodoravne vrste hiš (prej periode) ustrezajo multiplutom z enako čudnostjo S . (Preveri, ali se navedena čudnost sklada z vrednostjo, ki jo izračunaš s težiščem naboja multipleta.) Navpične vrste hiš (prej skupine) ustrezajo hadronom z enakim nabojem. Na levi strani hiše je simbol hadrona, na sprednji pa je označeno, kateri kvarki (po sl.5) ga sestavljajo. Na strehi leve hiše je navedena povprečna masa multipleta, merjena v masah elektrona.

Pri deseterici barionov (a) kažejo vse tri lastne vrtilne količine kvarkov v isto smer, pri osmerici barionov (b) kažeta v isto smer samo dve, pri deveterici mezonov (c) imata lastni vrtilni količini kvarkov nasprotno smer. Črtica nad simbolom kvarka označuje njegov *antidelec*, to je delec z enako maso, a nasprotnim znakom naboja in čudnosti.

Pozabi na podatek o masi bariona Ω in jo poskušaj napovedati po masah drugih barionov supermultipleta (a)!

Sl.2 Mehurčna celica, kakršne uporabljajo za opazovanje reakcij med delci. S to celico, ki stoji v Brookhavnu v ZDA in ima premer okoli 2 m in vsebuje 12 m^3 tekočega vodika so januarja 1964 dokazali obstoj bariona Ω . (V Ženevi v Švici stoji od 1975 še večja velika evropska mehurčna celica s 35 m^3 tekočega vodika.) Celico obdaja 400-tonski elektromagnet, katerega železno jedro je vidno sredi slike. Pravokotnik v njem je okno, skozi katerega vstopa v celico curek delcev, ki naj reagirajo s protoni v vodiku. Delce dobijo iz *sin-krotrona*, pospeševalnika, ki pospeši protone tako, kot da bi pretekli električno napetost 33 milijard voltov.

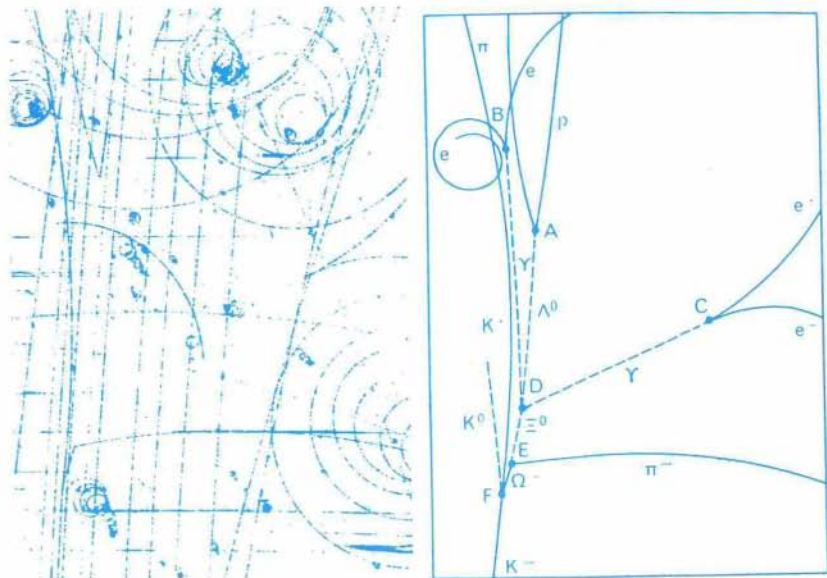


se izmerjena masa okoli 3300 elektronskih mas in razpadni čas več desetmilijardin sekunde prepričljivo ujemala z napovedima.*

Na osnovi periodne preglednice smo sklepali o notranji zgradbi atomov. Urejenost hadronov v supermultiplete pa kaže na notranjo zgradbo hadronov. To misel sta razvila M.Gell-Mann in G.Zweig (1964). Prvi je imenoval gradnike hadronov *kvark*** Obstajali naj bi trije temeljni kvarki z nenavadnimi lastnostmi. Njihov naboj

**Ime je posneto po vzkliku iz knjige *Finneganovo maščevanje* Jamesa Joycea in namiguje na trojnost in na tajinstvenost.

* Tedaj so mislili, da je to zadnji barion s sorazmerno velikim razpadnim časom (omega je zadnja črka grške abecede). Na koncu 1974 pa so odkrili dva delca Ψ s presenetljivo dolgim razpadnim časom. Ali so prišli na sled novi družini delcev, ki jo bo treba naknadno vgraditi v supermultiplete, podobno kot so periodni preglednici naknadno dodali stolpec žlahtnih plinov? V tej zvezi tudi že razpravljajo o novem kvantnem številu - *čaru*.



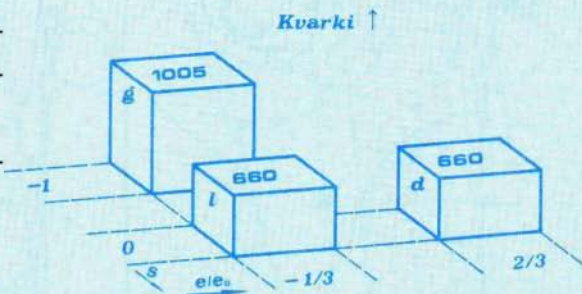
Sl.3 Prva fotografija nastanka bariona Ω^- v mehurčni celici (levo) in pojasnilo (desno). Čurek negativnih mezonov K z veliko histroostjo je prihajal na sliki od spodaj navzgor. Eden izmed njih je v točki F reagiral z mirujočim protonom: $K^- + p \rightarrow \Omega^- + K^+ + K^0$. Nastali barion Ω^- je razpadel v točki E: $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + \pi^-$. Barion Ξ^0 je razpadel v točki D dalje: $\Xi^0 \rightarrow \Lambda + \gamma + \gamma$. Barion Λ je razpadel v točki A: $\Lambda \rightarrow p + e^-$, fotona γ pa sta rodila v točkah C in D para elektron - pozitron: $\gamma + p \rightarrow e^- + e^+ + p$.

V tekočem vodiku nekoliko zmanjšajo tlak, tako da postane pregret. Na ionih in elektronih, ki jih napravi iz atomov na svoji poti hiter nabit delec, se izločijo tedaj prvi mehurčki plinastega vodika. Mehurčke fotografirajo s tremi stereoskopskimi kamerami, tako da lahko po fotografijah določijo lego sledi v prostoru. Nato tlak zopet povečajo, da se vodik iz mehurčkov utekočini. Po številu mehurčkov na centimeter sledi določijo maso delca, po zakrivljenosti tira v magnetnem polju pa znak naboja in hitrosti. S tem lahko zanesljivo preverijo potek dogodkov. Nevtralni delci ne zapustijo sledi. Rekonstruirajo jih po sledih nabitih delcev, v katere razpadejo (vrisane so črtkano).

ne bi bil večkratnik osnovnega naboja, kakor pri vseh drugih znanih delcih, ampak $\frac{1}{3}$ ali $\frac{2}{3}$ osnovnega naboja (sl.4).

Tako smo pri "zakonu" o zgradbi hadronov: Hadroni so zgrajeni iz kvarkov. Kvarki so "jedra" hadronov. Priznati pa je treba, da prostih kvarkov do danes še niso našli, čeprav so jih vneto iskali. "Zakon" o zgradbi hadronov tako še nima polne veljave zakona narave. Obstaja le več kvarkovskih modelov. Poleg začetnega modela s trojico kvarkov obstaja še model s tremi trojicami kvarkov. Kvantno število, po katerem se trojice razlikujejo med seboj,

Sl.5 Trojica kvarkov, po-
nazorjena po zgledu
sl.1 (simboli l, d, g po-
menijo preprosto: levo,
desno, gor). Če bi upošte-
vali še kvantno število
barve, bi imeli tri raz-
lične take trojice, na
primer modro, rdečo in ze-
leno. Če bi upoštevali še
novo kvantno število čar,
bi morali vsaki trojici
dodati četrti kvark s ča-
rom 1, čudnostjo 0, nabo-
jem $2/3$ in okoli 3000
elektronskimi masami.



slikovito imenujejo *barvo*. Če vključimo še novo kvantno število čar, pa nastopajo v modelu tri četverke kvarkov. Zadnji model uspešno napoveduje precej pojavov, a ne čisto vseh.

Ponuja se naslednja primerjava. Močne sile med hadroni so zelo zapletene in raznolične. To spominja na zapletene in raznolične električne sile med atomi. Morda obstaja med kvarkom in kvarkom preprosta *zelo močna sila*, ki ustreza preprosti električni sili med elektronom in jedrom? Ne vemo še, kaj naj vzamemo za "naboj" kvarka, od katerega bi bila odvisna zelo močna sila. Morda je "naboj" kvarka v zvezi s kvantnim številom barvo. Glede tega "naboja" naj bi bili hadroni nevtralni ("beli"). Vendar bi se težišče "naboja" enega znaka ne pokrivalo s težiščem "naboja" drugega znaka. Te domneve ne gre jemati dobesedno; morda igrajo barve prve, druge in tretje vrste vlogo težišča težišč "naboja" enega in drugega znaka. Posledica bi bila močna sila med hadroni, ki bi bila šibkejša od zelo močne sile in ne bi segala tako daleč kot zelo močna sila med kvarkoma. Možno bi bilo celo, da bi bila zelo močna sila med kvarkoma tolikšna, da kvarkov sploh ne bi bilo mogoče razdvojiti in ne bi mogli obstajati prosti. V zadnjem času omenjajo v tej zvezi možnost, da je zelo močna sila med kvarkoma neodvisna od razdalje. Kot posredujejo virtualni fotoni električno silo, naj bi imela tudi zelo močna sila svoje virtualne delce - *gluone* (glue - angl. lepilo). Prostega gluona tudi še niso opazili.

V kratkem članku ni mogoče naštetih poskusov, pri katerih so

kvarkovski modeli uspešni, in drugih, pri katerih zaidejo v težave. To je področje živahnega raziskovanja in skoraj vsak teden se pojavi še kaj novega. Ne smemo pa zamolčati poskusov, pri katerih so obstreljevali protone v vodiku z zelo hitrimi elektroni. Rezultate je bilo mogoče pojasniti s predpostavko, da sestavljajo proton točkasti delci. Za zdaj še ni jasno, ali so to prav kvarki, zato so imenovali te točkaste delce *partone*.

Kaže, da odražajo kvarki pravo zgradbo hadronov in da ne gre samo za začasen model, ki ga bodo nova dognanja popolnoma ovrgla. Verjetno bo "zakon" o zgradbi hadronov prerasel v pravi zakon narave. Današnji kvarkovski modeli pa so najbrž le osnova zanj, ki jo bo treba še izpopolniti po novih dognanjih.

Razglabljanje o zgradbi snovi moramo tu končati. V *fiziki visokih energij*, kakor tudi imenujemo *fiziko osnovnih delcev*, je še veliko vprašanj brez odgovora. Vsekakor vsi "osnovni" delci niso osnovni. Kvarki, tako mislimo danes, so nesestavljeni, hadroni pa so sestavljeni. Kaj pa elektroni in drugi leptoni, ki niso zmožni delovati z močno silo na druge delce? Ali so ti prav tako nesestavljeni kot kvarki? Ali je kakšno, čeprav zelo daljno sorodstvo med električno silo in močno silo? Ali je še več različnih vrst sil? *

V fiziki osnovnih delcev se je treba navaditi živeti s kopico odprtih vprašanj in nerešenih nasprotij. Čeprav je toliko vprašanj in se javljajo vedno nova, se vendar naše znanje o delcih in o zgradbi snovi nenehno pogloblja.

Kdo ve, kakšna presenečenja še skriva narava!

Janez Strnad
