

Od tod do večnosti

Fizika osnovnih delcev in njen vpliv na družbo

Znanje žanje, Državni zbor, 25. marec 2009

Vodja projekta: dr. Peter Križan, redni profesor

Redni profesor na Fakulteti za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani

Znanstveni svetnik, Institut Jožef Stefan

Kratka biografija: Po študiju fizike na ljubljanski univerzi je pričel z raziskavami na področju eksperimentalne fizike osnovnih delcev v evropskem središču za fiziko osnovnih delcev CERN v Ženevi kot doktorant pod mentorstvom akad.prof.dr. G. Kernela. Leta 1987 se je pridružil eksperimentalni raziskovalni skupini ARGUS na inštitutu DESY v Hamburgu, kjer je bil nato v letih 1992-2000 eden od vodilnih raziskovalcev mednarodne raziskovalne skupine HERA-B. Leta 2001 se je sodelavci vključil v raziskave s spektrometrom Belle ob elektronsko-pozitronskem trkalniku KEK-B v Tsukubu na Japonskem.

Spletne strani: <http://www-f9.ijs.si/belle>, http://www-f9.ijs.si/~krizan/pk_slo.html, <http://www-f9.ijs.si/wiki/Main>, <http://belle.kek.jp/>

Sodelavci na projektu: izr.prof.dr. Boštjan Golob, izr.prof.dr. Samo Korpar, izr.prof.dr. Samo Stanič, izr.prof.dr. Marko Starič, doc.dr. Tomi Živko, dr. Marko Bračko, dr. Samo Kupper, dr. Rok Pestotnik, podiplomski študenti Rok Dolenc, Marko Petrič, Peter Smerkol in Anže Zupanc.

Sodelujoče institucije: Institut Jožef Stefan, Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru, Laboratorij za astrofiziko osnovnih delcev Univerze v Novi Gorici.

Od tod do večnosti

Fizika osnovnih delcev in njen vpliv na družbo

prof. dr. Peter Križan

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani, Jadranska 19, 1000 Ljubljana, in

Odsek za fiziko osnovnih delcev, Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana

Elektronski naslov: peter.krizan@ijs.si.

Telefon: 01-4773786, telefaks: 01-4773166

Povzetek

Razvoj Vesolja in njegove značilnosti na velikih razdaljah so tesno povezani z lastnostmi najmanjših gradnikov, osnovnih delcev in njihovih interakcij. Tako je, na primer, očitna asimetrija med količino snovi in antisnovi v današnjem Vesolju, ki je 'kriva' za naš obstoj, tesno povezana s kršitvijo simetrije CP pri osnovnih delcih in njihovih antidelcih. V članku je predstavljena meritev kršitve simetrije CP, ki smo jo izvedli s spektrometrom Belle in je pomembno prispevala k lanski Nobelovi nagradi za fiziko, govorimo pa tudi o načrtih za nadaljnje raziskave na tem področju. Članek obravnava pomen osnovnih raziskav in njihov vpliv na družbo, od izobraževanja sposobnih kadrov preko primera prenosa znanja na izboljšave pri medicinskem slikanju, do prenosa tehnologij v slovensko gospodarstvo.

Ključne besede: osnovni delci, antisnov, razvoj Vesolja, svetlobni senzorji, medicinsko slikanje

From here to eternity

Elementary particle physics and its impact on the society

Abstract

The evolution of Universe and its properties at large distances are tightly connected to the properties of elementary particles and their interactions. The obvious asymmetry of matter and anti-matter in the present-day Universe is related to the violation of the CP symmetry between particles and anti-particles. The paper discusses the measurement of CP asymmetry which we have carried out with the Belle spectrometer; the result of the measurement was essential for awarding the 2008 Nobel prize for physics to M. Kobayashi and T. Maskawa. The plans for further research in this field of science are discussed, as well as the impact of basic research on the society, with examples from education, improvements in medical imaging and technology transfer to Slovenian companies.

Keywords: elementary particles, anti-matter, early Universe, light sensors, medical imaging

Uvod

Narava je urejena po nadstropjih, od jat galaksij v Vesolju, preko našega Osončja, Zemlje, pa do molekul, atomov, atomskih jeder in elektronov, nukleonov in končno kvarkov. Nadstropja se dramatično razlikujejo po velikosti objektov in po silah, ki delujejo med njimi. Medtem ko gibanje galaksij, zvezd in planetov določa sila gravitacije in so elektroni in atomska jedra v atomu vezani

z elektromagnetno silo, sta za kvarke bistveni močna in šibka sila.

Presenetljivo pa je, da obstaja zveza med najmanjšim nadstropjem – eno od 'neskončnosti', torej fiziko osnovnih delcev, in najvišjim – drugo 'neskončnostjo', torej strukturo Vesolja na zelo velikih razdaljah. Ta povezava je posledica zveze med fiziko osnovnih delcev in razvojem Vesolja ob nastanku, ki si jo lahko predstavljamo na naslednji način. Zgodnje Vesolje je bilo zelo gosto in zato izredno vroče (podobno kot je vroč plin, ki ga stisnemo, recimo v valju avtomobilskega motorja). V plinu pri visoki temperaturi imajo delci veliko hitrost, zato so bili trki med delci v zgodnjem Vesolju enaki trkom delcev v današnjih pospeševalnikih. Podobni so tudi procesi, ki so pri tem potekali.

Standardni model osnovnih delcev

Pri opisu osnovnih gradnikov narave postavimo dve zahtevi. Opis naj bo preprost, z majhnim številom osnovnih gradnikov, in seveda pravilen. Anaksimenes iz Mileta je v šestem stoletju p.n.š. predpostavil, da je narava sestavljena iz štirih elementov, zraka, ognja, vode in zemlje. To je bil nedvomno preprost, ne pa tudi pravilen model. Po drugi strani pa je po Mendeljejevem periodnem sistemu v naravi okoli sto elementov. Medtem ko je to pravilen opis narave, pa gotovo ni preprost.

V času po Mendeljejevu se je zgodilo marsikaj, in zdajšnji opis osnovnih delcev in sil med njimi, ki ga poznamo pod imenom Standardni model, je prav neverjetno uspešno eksperimentalno preverjena teorija. Po njej imamo v naravi dvanajst osnovnih delcev, med njimi elektrone in kvarke u in d , ki sestavljata protone in nevtrone, sestavne dele atomskega jedra. Vsak delec ima svoj antidelec, elektronu e^- ustreza pozitron e^+ , kvarku pa anti-kvark. Antidelcev v naravi skorajda ne najdemo, lahko pa jih ustvarimo v pospeševalnikih.

Poleg teh delcev obstajajo še nosilci sile, ki si jih lahko predstavljamo kot nekakšne žoge, ki si jih izmenjujejo osnovni delci, ter tako imenovani Higgsov delec, ki je odgovoren za to, da imajo osnovni delci različne mase.

Simetrija CP in njena kršitev

Prav z antidelci je povezana ena izmed največjih ugank današnjega Vesolja. Ob nastanku je bilo namreč Vesolje sestavljeno iz enakega števila delcev in antidelcev, danes pa je sestavljeno skoraj izključno iz snovi, torej delcev, in ne iz antisnovi. Ruski fizik Andrej Saharov je leta 1967 objavil teorijo, ki je pojasnjevala, kako se je Vesolje razvilo do današnje stopnje. Eden ključnih pogojev je po njegovi razlagi majhna razlika med pogostostjo razpadov delcev in antidelcev.

To razliko pripišemo kršitvi simetrije, imenovane CP, med delci in antidelci. Prvi primer kršitve te simetrije sta opazila leta 1964 ameriška fizika M. Fitch and J. Cronin. Japonska teoretska fizika M. Kobajaši in T. Maskava sta nato leta 1973, torej v času, ko so poznali le tri vrste kvarkov, napovedala, da je to razliko mogoče pojasniti le, če obstaja šest vrst različnih kvarkov. Še več, napovedala sta, da bo v bodočnosti mogoče opaziti razliko med razpadi delcev in antidelcev, sestavljenih iz dotlej neznanih kvarkov.

Meritev kršitve simetrije CP

V enajstih letih po objavi njune teorije so fiziki odkrili vse tri manjkajoče kvarke. Na kronski dokaz o kršitvi simetrije med temi delci in njihovimi antidelci pa je bilo potrebno počakati do začetka tega desetletja, ko sta eksperimentalni skupini Belle in BaBar, ki sta opravljali meritve na pospeševalnikih v Tsukubi na Japonskem in v Stanfordu v Kaliforniji, odkrili kršitev omenjene simetrije. Izmerili sta majhno razliko med razpadi delcev in antidelcev, sestavljenih iz enega od treh kvarkov, ki sta ju napovedala japonska teoretika. Zahtevne meritve razpadov delcev, ki živijo zgolj bilijoninko sekunde, predno razpadejo, z veliko natančnostjo potrjujejo njune napovedi. Kot je omenjeno v obrazložitvi Nobelovega komiteja, je bila ta eksperimentalna potrditev bistvena pri podelitvi lanske Nobelove nagrade za fiziko M. Kobajašiju in T. Maskavi.

K potrditvi teorije Kobajaši-Maskava so pomembno prispevali tudi slovenski fiziki z Inštituta Jožef Stefan in univerz v Ljubljani, Mariboru in Novi Gorici (Slika 1). Sodelujejo namreč pri eksperimentu Belle v japonskem inštitutu KEK, kjer raziskuje tudi Makoto Kobajaši. Poskus je tipičen za fiziko osnovnih delcev. V pospeševalniku, imenovanem KEKB, pospešimo elektrone in njihove antidelce, pozitrone, ter jih pustimo, da v središču eksperimentalne aparature trčijo. Pri takem trku nastanejo težji delci, imenovani mezoni B in njihovi antidelci, mezoni anti-B. Oboji so neobstojni, in približno v eni bilijoninki sekunde razpadejo v lažje delce. Pri poskusu iščemo razlike v načinih razpadov, saj nam taka razlika kaže na kršitev simetrije CP med delci in antidelci. Velja omeniti, da sta tako pospeševalnik, v katerem pospešujemo delce z elektromagnetnim valovanjem s podobno frekvenco, kot jo uporabljajo mobilni telefoni, kakor tudi detektor Belle, s katerim zaznamo delce, ki so pri razpadih nastali, polna originalnih tehničnih rešitev in vrhunske tehnologije.

Rezultat najpomembnejše izmed meritev prikazuje Slika 2. Z modrimi točkami in krivuljo je označen izmerjen časovni potek razpadov mezonov anti-B, v rdeči barvi pa isto za mezone B. Iz razlike v časovnih potekih razpadov delcev in antidelcev je očitno, da je simetrija CP kršena. Ne samo to: razlika med delci in antidelci se ujema z napovedjo japonskih fizikov Kobajašija in Maskave, in je tako potrditev tako njune hipoteze kot tudi pravilnosti Standardnega modela.

Kako naprej?

Naslednji veliki cilj v fiziki osnovnih delcev je najti dokaz za obstoj Higgsovega delca, edinega manjkajočega kamenčka v mozaiku Standardnega modela. Ta delec je bistven, saj v Standardnem modelu poskrbi za to, da imajo delci različne mase. Lov za Higgsovim delcem je osnovna naloga poskusov ob Velikem hadronskem trkalniku LHC v Ženevi, med katerim je največji detektor ATLAS. Tudi tukaj je ena od močnejših raziskovalnih skupin slovenska raziskovalna skupina pod vodstvom prof. dr. M. Mikuža.

Ali se bo fizika osnovnih delcev z odkritjem Higgsovega delca končala, torej ali je Standardni model dokončna teorija osnovnih delcev in njihovih interakcij? Več indikacij je, da Standardni model ni dokončna teorija. Po eni strani je število delcev, dvanajst osnovnih delcev, prav toliko antidelcev, tri vrste interakcij in nosilcev sile, pa še delec, ki poskrbi za maso vseh ostalih, že precej veliko in malo spominja na sistem elementov. Še bolj očiten razlog je dejstvo, da je v Vesolju običajne snovi kar šestkrat manj kot tako imenovane temne snovi, za katero zaradi njenega vpliva na gibanje galaksij sicer vemo, da obstaja, ne vemo pa, kakšni delci jo

sestavljajo. Še več, razlika med snovjo in antisnovjo je dosti večja, kot ta, ki smo jo izmerili pri mezonih B in jo vsebuje Standardni model. Obstajajo tudi globlji teoretični razlogi, ki kažejo, da je Standardni model zgolj uspešen opis dogajanja v svetu osnovnih delcev pri doslej dosegljivih energijah, ne pa povsem osnovna teorija.

Zato več raziskovalnih skupin na različne načine išče odstopanja od sicer izjemno natančno preverjenega Standardnega modela. Za take raziskave obstajata dve možnosti. Ena je neposredno iskanje novih delcev pri najvišjih dosegljivih energijah, torej na trkalniku LHC. Druga možnost, pa je iskanje odstopanj od pričakovanih značilnosti procesov - recimo pri redkih razpadih mezonov B. Gre za izredno natančne meritve, ki jih lahko izvajamo pri nižjih energijah. Velja omeniti, da se oba pristopa dopolnjujeta, saj raziskujeta različne vidike istega problema.

To drugo raziskovalno metodo bomo uporabili v naši raziskovalni skupini. Pravzaprav se nam je posrečil že prvi korak. Pri razpadu mezonov B v dva lažja delca, imenovana kaon in pion, smo odkrili očitno neskladje, ki je bilo tako zanimivo, da smo ga lani objavili v elitni naravoslovni reviji Nature. To seveda še ni znak, da smo zares odkrili delce izven Standardnega modela, je pa v povezavi z nekaterimi drugimi meritvami del mozaika, ki kaže na to.

Edina pot do odgovorov na odprta vprašanja je preko bistvene izboljšave meritev, tako po natančnosti kot tudi z bistvenim povečanjem velikosti vzorca. Temu je namenjen projekt SuperBelle, v katerega smo uspeli poleg dosedanjih sodelavcev pritegniti tudi nekaj novih, kadrovsko in tehnološko močnih raziskovalnih skupin. Pričakujemo, da bosta tako pospeševalnik kakor tudi detektor nared konec leta 2012. Slovenska raziskovalna skupina je med nosilci tega projekta, pri pripravi zasedamo nekaj ključnih pozicij. Pričakujemo tudi, da bo, podobno kot že pri prejšnjih projektih, pri iskanju tehnoloških rešitev in pripravi sestavnih delov eksperimentalne aparature pomembno sodelovala tudi slovenska industrija.

Pomen osnovnih raziskav

Zakaj osnovne raziskave? Iskanje odgovorov na vprašanja o svetu okoli nas so bistveni sestavni del naše civilizacije, brez tega je ne bi bilo. Slovenija mora v to zakladnico prispevati svoj delež, tudi na ta način je naša država prepoznavna. Seveda smo majhni in ne moremo početi vsega. Če pa najdemo področje, na katerem smo zelo dobri, je smiselno staviti na takega zmagojočega konja. Pomembno je, da se zavedamo, da smo premajhni in premalo bogati, da bi si pri velikih projektih lahko privoščili kaj drugega kot prvorazredne raziskave. Omenjeni projekti, eksperiment Belle kot najbolj odmeven eksperiment zadnjega desetletja, LHC kot največji znanstveni projekt do sedaj, in SuperBelle kot najbolj natančen eksperiment prihodnjega desetletja, gotovo sodijo v to skupino.

Dilema o uporabnosti osnovnih raziskav je stara, kar ponazarja naslednja anekdota. Michael Faraday (1791-1867), angleški fizik, je odkril indukcijo, kar je bila prava osnovna raziskava v njegovem času, danes pa si brez nje ne moremo predstavljati življenja, saj je osnova radiu, televiziji, mobilnim telefonom in računalnikom. Ko ga je finančni minister vprašal, zakaj so njegove raziskave koristne, je odgovoril: "Ne vem, zakaj so koristne, prepričan pa sem, da bo vaš naslednik od tega pobiral davke".

Nekaj najbolj znanih posledic osnovnih raziskav, brez katerih bi bilo naše življenje bistveno drugačno, velja posebjaj omeniti. Ko so odkrili elektron, prvega izmed danes poznanih osnovnih delcev, si gotovo nihče ni mogel predstavljati, kakšen pomen bo imelo to odkritje v vsakdanjem življenju. Tranzistor so iznašli bolj ali manj po naključju, ko so raziskovali polprevodniško diodo, laser pa so razvili, ko so iskali intenziven vir svetlobe za potrebe osnovnih raziskav. Svetovni splet (internet) so razvili v evropskem središču za fiziko osnovnih delcev (CERN), da bi raziskovalcem v velikih mednarodnih skupinah omogočili dobro povezavo kljub medsebojni oddaljenosti.

Poleg teh težko predvidljivih rezultatov osnovnih raziskav obstajajo tudi neposredne posledice, med katerimi velja posebjaj omeniti šolanje kadrov, prenos znanja in prenos tehnologije. Po vsej verjetnosti je prav šolanje kadrov najbolj pomemben prispevek osnovnih raziskav k napredku gospodarstva. Eden od direktorjev Siemens je v intervjuju izjavil, da najraje zaposluje fizike, ki so se pri svojem študiju in raziskovalnem delu v okviru diplome oziroma doktorata soočili s problemi, za katere niso obstajali standardni pristopi, in so zanje našli rešitve, takšni so kot mačke, zmeraj pri padcu pristanejo na nogah.

Glede prenosa znanja pri fiziki osnovnih delcev velja posebjaj omeniti razvoj novih metod za varovanje zdravja in okolja in razvoj telekomunikacij. Kot prvi primer naj predstavim potencialne izboljšave pri slikanju v medicinski diagnostiki, kjer se zaradi uporabe detektorjev, ki smo jih razvili za naše poskuse v fiziki osnovnih delcev, obeta prava revolucija. Pozitronska tomografija (PET) je medicinska diagnostična preiskava, pri kateri pacientu vbrizgamo v kri snov, v katero smo vgradili radioaktivni fluor. Pri radioaktivnem razpadu fluor nastaneta dva žarka gama. Na mestih, kjer se bo nabralo več te snovi (recimo v tumorju), bo nastajalo več parov žarkov gama. Pare žarkov gama zaznamo s kombinacijo kristalov in detektorjev svetlobe. Standardni svetlobni senzor je fotopomnoževalka, približno deset centimetrov dolga priprava, ki je zelo občutljiva na okoliško magnetno polje. Pri naših raziskavah v fiziki osnovnih delcev smo razvili nov tip senzorja svetlobe, tako imenovano silicijevo fotopomnoževalko. Ta ni samo bistveno manjša (velikosti nekaj milimetrov) od običajnih fotopomnoževalk, ima tudi zelo pomembno lastnost, da odlično deluje tudi v zelo velikih magnetnih poljih. Uporaba takih senzorjev bi ne omogočila samo izdelavo bistveno bolj kompaktnih aparatov za slikanje s pozitronsko tomografijo, ampak bi tudi omogočila sočasno slikanje pacienta na dva različna načina, z magnetno resonanco in s pozitronsko tomografijo. Zaradi komplementarnosti obeh slikanj bo tako sočasno slikanje predstavljalo pomembno izboljšavo pri hitri in učinkoviti diagnostiki.

Pri prenosu tehnologij velja omeniti razvoj tehnologije za izdelavo fleksibilnih tiskanih vezij na laminatih aluminij-Kapton, pri katerih je šlo za sodelovanje raziskovalcev iz IJS s podjetji ELGO-LINE, Cerknica, Balder d.o.o., Ljubljana, FDS Research d.o.o., Trzin, in Apel d.o.o., Ljubljana. S pomočjo naših raziskovalcev je ELGO-LINE postavil proizvodno linijo, ki je omogočila izdelavo takih vezij za eksperiment ATLAS, kar je predstavljalo približno milijon EUR vreden posel za slovenska podjetja. Pri tem je ELGO-LINE pridobljene izkušnje pri razvoju nove tehnologije in pripravi proizvodne naprave uspešno uporabil tudi pri prodaji tega novega izdelka drugim uporabnikom. Izkoristili so tudi dejstvo, da ta tehnologija omogoča tudi izdelavo tankih površinskih grelcev, kar predstavlja nov izdelek, in je zanimiva tržna niša za ELGO-LINE.

Še en prenos tehnologije velja omeniti. Podobno kot je za potrebe raziskav v fiziki osnovnih delcev nastal internet, se zdaj obeta nova revolucija. Zaradi nujnosti povezave računalniških sistemov za obdelavo velikih količin podatkov, ki jo bodo zbrali pri poskusih v fiziki osnovnih

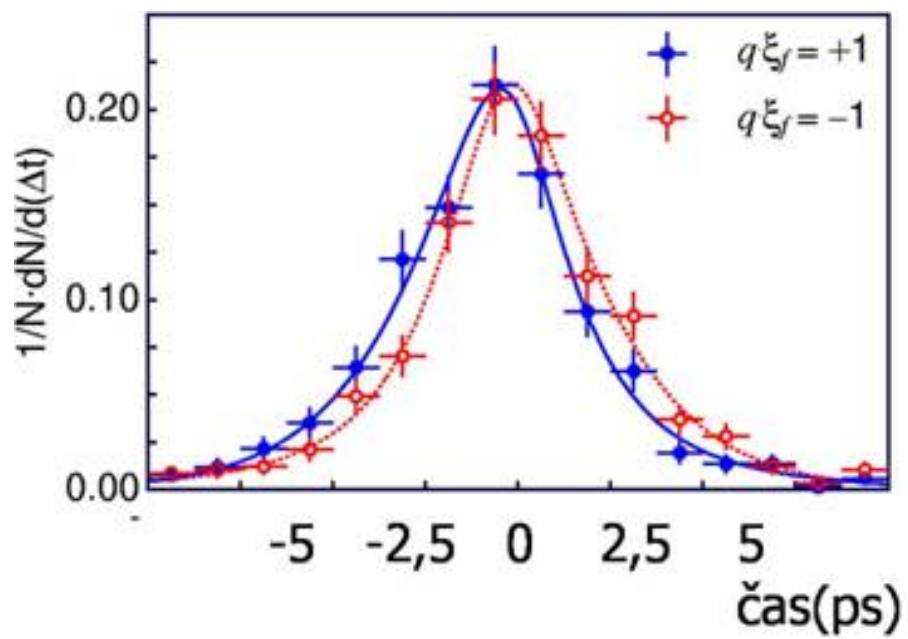
delcev, so znanstveniki razvili koncept Grid kot naslednjo stopnjo razvoja interneta. Gre za predhodnika neke vrste računalnika iz vtičnice, ki bi bil dostopen v vsakem gospodinjstvu. Veliki hadronski trkalnik je prvi uporabnik tega sistema. Slovenski fiziki smo se že zelo aktivno vključili v to mrežo in na IJS postavili svoj del Grida, ki smo ga poimenovali SiGNET. Za raziskave je v slovenskem delu sistema na voljo 500 procesorjev in 170 TBy spomina.

Zaključek

Fizika osnovnih delcev je živahna veda o svetu pri najmanjših in največjih razdaljah, in je ob tem trdno zasidrana v vsakdanjem svetu. Slovenski fiziki smo v prvih vrstah iskanja odgovorov na nova vprašanja, ki se postavljajo v fiziki in sorodnih interdisciplinarnih področjih. Posredne rezultate svojih raziskav poskušamo uporabiti pri razvoju novih tehnologij, napredku v medicinskem slikanju in pri varovanju okolja.



Slika 1. M. Kobajaši in del slovenskih članov skupine Belle (od leve B. Golob, R. Pestotnik, S. Korpar, P. Križan, M. Starič)



Slika 2. Izmerjena razlika med obnašanjem delcev (modro) in antidelcev (rdeče).