

Narava je urejena po

MARJAN LOGAR

Eksperiment Belle v Cukubi na Japonskem je imel zelo pomembno vlogo pri potrditvi teorije, za katero sta japonska znanstvenika Makoto Kobajaši in Tošihide Maskava leta 2008 prejela Nobelovo nagrado za fiziko. Pri izvedbi eksperimenta so pomembno sodelovali tudi slovenski znanstveniki. Zato je veliko pozornosti novembra 2011 v Cukubi pritegnilo nadaljevanje raziskav v okviru novega projekta Belle II. Projekt pripravlja skoraj 400 raziskovalcev iz 15 držav, pomembno vlogo pri tem pa imajo spet slovenski raziskovalci z Instituta Jožef Stefan (IJS) in univerze v Mariboru, Ljubljani in Novi Gorici. Vodja mednarodne raziskovalne skupine je Mariborčan prof. Peter Križan, redni profesor na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (FMF UL) in znanstveni svetnik na Institutu Jožef Stefan na Odseku za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev. Pogovor z njim je stekel ob njegovem obisku in aktivnem sodelovanju na simpoziju fizikov Univerze v Mariboru, ki ga organizira Center za uporabno matematiko in teoretično fiziko (CAMTP) pod vodstvom direktorja prof. Marka Robnika.

Na srečanju je prof. Križan predstavil nekaj novejših rezultatov raziskav v zadnjem letu in njihovo medsebojno komplementarnost z meritvami na velikem hadronskem trkalniku (LHC) v CERN-u v Ženevi ter spregovoril o pripravah za novi projekt na pospeševalniku KEKB v Cukubi. Peter Križan, po rodu Mariborčan, je po maturi na II. gimnaziji študiral fiziko na Univerzi v Ljubljani, tam magistriral in doktoriral. Njegovo delovno področje sta eksperimentalna fizika osnovnih delcev in razvoj ustreznih detekcijskih metod. Raziskovalna pot ga je vodila po mnogih velikih raziskovalnih centrih po svetu: CERN v Ženevi, Oxford v Veliki Britaniji, DESY (največji nemški raziskovalni center osnovnih delcev) v Hamburгу, KEK v Cukubi na Japonskem. Predaval je v Angliji, Franciji, Kanadi, Turčiji, Nemčiji, na Japonskem, v Švici in drugod.

Kakšna je vloga slovenskih znanstvenikov pri projektu Belle II v Cukubi?

"Pospeševalnik SuperKEKB in z njim tudi detektor Belle II je projekt japonske vlade za raziskave osnovnih delcev v vrednosti okoli 250 milijonov evrov. Delovati naj bi začel konec leta 2014. Pri pripravi spektrometra Belle II sodeluje petnajst držav (med njimi Japonska, ZDA, Nemčija, Rusija, Avstralija, Avstrija, Češka, Poljska, Kitajska, Južna Koreja in Slovenija), skupno z več kot tristo raziskovalci. Slovenska raziskovalna skupina je med nosilci tega projekta, pri pripravi je prevzela celo ključne odgovornosti. Poleg mene, kot vodje mednarodne raziskovalne skupine, je koordinator fizikalnega programa prof. Boštjan Golob (FMF UL in IJS) in vodja enega od detektorskih sistemov prof. Samo Korpar s Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo UM. Velja omeniti, da se je v okviru raziskav pri projektu Belle in Belle II uspo-

bljalo že kar nekaj mladih slovenskih raziskovalcev ter so pri tem opravili vrsto doktoratov, z izgradnjo detektorja Belle II pa je mogoče pričakovati še več usposabljanj."

Za kaj gre pri teh poskusih?

"Eksperiment Belle II je namenjen poskusom v fiziki osnovnih delcev. V pospeševalniku SuperKEKB se bodo pospeševali in v središču eksperimentalne aparature trkali elektroni in pozitroni. Pri tem bodo nastali težki delci in njihovi antidelci. S primerjavo lastnosti enih in drugih bodo znanstveniki skušali odgovoriti na vprašanje, zakaj je nam znano vesolje sestavljeno iz snovi in ne iz antisnovi. Spektrometer Belle II bo nadaljeval izredno uspešne raziskave svojega predhodnika, spektrometra Belle, ki je s svojimi meritvami potrdil teorijo Kobajašija in Maskave in s tem odločilno prispeval k podelitvi Nobelove nagrade obema japonskima teoretikom."

To ima opraviti z opisom vsega sveta do najpreprostejših, osnovnih delcev in razumevanjem delovanja med njimi.

"Tako je. Narava je urejena po nadstropjih, od jat galaksij v vesolju, preko našega Osončja, Zemlje 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 pri tem potekajo oziroma so potekali."

Te osnovne delce določa t. i. standardni model osnovnih delcev?

"Teoretski opis osnovnih delcev in sil med njimi, imenovan Standardni model, je prav neverjetno uspešno eksperimentalno preverjena teorija. Po njej imamo v naravi dvanajst osnovnih delcev, med njimi elektrone ter kvarka u in d, ki sestavljata protone in nevtrone, sestavne dele atomskih jeder. Vsak delec ima svoj antidelec, elektronu ustreza pozitron, posameznemu kvarku pa ustrezen antikvark. 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.

“ Michael Faraday (1791-1867), angleški fizik, ko ga je finančni minister vprašal, zakaj so njegove raziskave koristne: Ne vem, zakaj so koristne, prepričan pa sem, da bo vaš naslednik od tega pobiral davke

”

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, 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 njegove teorije je majhna razlika med pogostostjo razpadov delcev in antidelcev. To razliko pripisemo kršitvi simetrije med delci in antidelci, tako imenovani simetrija CP.

Prvi primer kršitve te simetrije sta opazila leta 1964 ameriška fizika Val Fitch in James Cronin pri nevtralnih kaonih. Japonska teoretska fizika Kobajaši in Maskava sta nato leta 1973, torej v času, ko so poznali le tri vrste kvarkov, drzno 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. 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 treba počakati do začetka prejšnjega desetletja, ko sta eksperimentalni skupini Belle in BaBar, ki sta opravljali meritve na pospeševalnikih v Cukubi 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, preden razpadejo, z veliko natančnostjo potrjujejo njune napovedi. Kot je omenjeno v obrazložitvi Nobelovega komiteja, je bila ta eksperimentalna potrditev bistvena za podelitev Nobelove nagrade."

In k temu ste pomembno prispevali tudi slovenski fiziki z Inštituta Jožef Stefan in univerz v Ljubljani, Mariboru in Novi Gorici.

"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 antiB. Oboji so neobstojni in približno v bilijoninki sekunde razpadejo v lažje delce. Pri poskusu iščemo razlike v načinih razpadov, ki nam kažejo 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: Iz razlike v časovnih poteh razpadov delcev in antidelcev je očitno, da je simetrija CP kršena. Pa ne le to: razlika med delci in antidelci se ujema z napovedjo Kobajašija in Maskave in je potrđitev

tako njune hipoteze kot tudi pravilnosti Standardnega modela."

Veliko je slišati zadnje čase o Higgsovem bozonu. Kako torej naprej?

"Najti dokaz za obstoj Higgsovega delca, edinega manjkajočega kamenčka v mozaiku Standardnega modela, je naslednji veliki cilj v fiziki osnovnih delcev. Ta delec je bistven, saj v Standardnem modelu poskrbi za to, da imajo delci različne mase. Lov za Higgsovim delcem je osnovna naloga poskusov, ki potekajo ob velikem hadronskem trkalniku LHC v Ženevi, ob katerem je največji detektor ATLAS. Ob njem je ena od močnejših raziskovalnih skupin slovenska raziskovalna skupina pod vodstvom prof. Marka Mikuža. Rezultati meritev, ki so sredi decembra že prišle v javnost, kažejo, da Higgsov delec najbrž res obstaja, bo jih pa treba seveda še potrditi, preden bomo o njegovem obstoju lahko povsem prepričani."

Ali je Standardni model dokončna teorija osnovnih delcev in njihovih interakcij in ali se bo fizika osnovnih delcev z morebitnim odkritjem Higgsovega delca končala?

"Več indikacij je, da Standardni model ni dokončna teorija. Po eni strani je število delcev, ki v njem nastopa (dvanajst osnovnih delcev, prav toliko antidelcev, tri vrste interakcij in nosilcev sile, pa še delec, ki poskrbi za maso vseh drugih), 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. Prav tako ne zajema gravitacije kot ene od štirih elementarnih interakcij.

Zato več raziskovalnih skupin na različne načine išče odstopanja od sicer izjemno natančno preverjenega Standardnega modela. Ena izmed najbolj perspektivnih raziskav je iskanje odstopanj od pričakovanih značilnosti procesov - recimo pri redkih razpadih mezonov B. To raziskovalno metodo bomo uporabili v naši raziskovalni skupini, tako da bomo bistveno izboljšali natančnosti meritev in povečali velikosti vzorca. Temu je namenjen projekt Belle II, v kateri smo uspeli poleg dosedanjih sodelavcev pritegniti tudi nekaj novih, kadrovske in tehnološko močnih raziskovalnih skupin. Pričakujemo, da bosta tako pospeševalnik kakor tudi detektor nared konec leta 2014."

Kakšen je pomen osnovnih raziskav? Kakšne so, razen osnovnih spoznanj o zgradbi sveta, koristi takšnih raziskav?

"Zakaj osnovne raziskave? Iskanja odgovorov na vprašanja o svetu okoli nas so bistveni sestavni deli

nadstropjih

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, Belle II kot najbolj natančen eksperiment prihodnjega desetletja, zagotovo 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 posebej 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 CERN-u, 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 posebej omeniti šolanje kadrov, prenos znanja in prenos tehnologije. Po vsej verjetnosti je prav šolanje kadrov najbolj pomemben prispevek osnovnih raziskav k napredku gospodarstva. Pri projektu Belle II pa igra pomembno dodatno vlogo tudi dejstvo, da je slovenska raziskovalna skupina med nosilci tega projekta, pri pripravi zasedamo nekaj ključnih pozicij. Zato lahko pričakujemo, da bo, podobno kot že pri prejšnjih projektih, pri iskanju tehnoloških rešitev in pripravi sestavnih delov eksperimentalne aparature pomembno sodelovala tudi slovenska industrija. Nekaj zelo konkretnih dogovor je že v pripravi."

Napredek pri razvoju novih detektorjev za medicinsko slikanje je tudi posledica vašega raziskovalnega dela.

"Merske metode iz fizike osnovnih delcev se včasih posreči predelati tako, da so uporabne na drugih področjih, npr. v medicinski diagnostiki, za razvoj novih metod za varovanje zdravja in okolja ter razvoj telekomunikacij. Ena izmed njih je potencialna izboljšava 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 fluora nastane žarka gama. V tumorskem tkivu se nabere več te snovi, zato tam nastane 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 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. Njena zelo pomembna lastnost je, da odlično deluje tudi v zelo velikih magnetnih poljih in da ne potrebuje visoke napetosti. Uporaba takih senzorjev ne bi omogočila le izdelave bistveno bolj kompaktnih aparatov za slikanje s pozitronsko tomografijo, ampak bi omogočila tudi sočasno slikanje pacienta na 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.

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 2000 procesorjev in 800 TBy spomina."

Za fizike torej še ne bo zmanjkalo dela?

"Fizika osnovnih delcev je živahna veda o svetu pri najmanjših in največjih razdaljah in je ob tem trdno zasidrana v vsakdanjem svetu. V zadnjih desetih letih je naredila velik korak naprej. Standardni model se je utrdil kot zelo natančen opis osnovnih gradnikov snovi pri energijah, do katerih sežejo naši pospeševalniki. V pripravi je naslednja generacija poskusov, ki nam bo odprla pogled daleč nazaj v razvoju vesolja.

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, pri varovanju okolja in na številnih drugih področjih." •

Prof. PETER KRIŽAN, redni profesor na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani (FMF UL)

