

Nobelova nagrada iz fizike za leto 2013

Janez Strnad

Letošnjo Nobelovo nagrado za fiziko sta si delila François B. Englert in Peter W. Higgs »za teoretično odkritje mehanizma, ki prispeva k razumevanju izvora mase subatomskih delcev in ki je bilo nedavno potrjeno z odkritjem napovedanega osnovnega delca pri poskusih ATLAS in CMS ob Velikem hadronskem trkalniku v CERN-u.«

Nagrada je malokoga presenetila. Korakom, ki so vodili do nje, je *Proteus* vestno sledil. Tako je poročilo o nagradi mogoče sestaviti iz prispevkov o prejšnjih Nobelovih nagradah, ženevskih trkalnikih LEP in LHC ter odkritju Higgsovega bozona lani poleti. Nagrada je povezana z napovedjo »zadnjega manjkajočega delca« v *standardnem modelu delcev*.

Standardni model delcev so gradili vso drugo polovico prejšnjega stoletja in je dobil jasnejšo obliko po letu 1970. Obstajajo *delci snovi*, in to šest *leptonov* in šest *kvarkov*, urejeni v tri *rodove*:

1. rod: leptona elektron e^- in elektronski nevtrino ν_e ter kvarka u in d ,
2. rod: leptona mion μ^- in mionski nevtrino ν_μ ter kvarka s in c ,
3. rod: leptona tauon τ^- in tauonski nevtrino ν_τ ter kvarka b in t .

Delci iz prvega rodu sestavljajo običajno snov. Kvarki u in d sestavljajo proton, kvarki u in d in nevtroni sestavljajo atomska jedra. Atomska jedra in elektroni sestavljajo atome. Elektronski nevtrini nastanejo pri nekaterih razpadih delcev. Čim višji je rod, tem bolj nenavadni so delci, tem večjo maso imajo in tem hitreje razpadejo. Vsak delec ima svoj *antidelec*, ki ima enako maso in enak razpadni čas, a se razlikuje po znaku električnega naboja. Nekateri delci na primer, foton in Higgsov bozon, se ne razlikujejo od svojih antidelcev.



François Baron Englert (levo) je bil rojen leta 1932 v Etterbeeku. Med okupacijo je prikrival judovsko poreklo in živel v sirotišnicah v različnih belgijskih krajih. Leta 1955 je končal študij na Svobodni univerzi v Bruslju in leta 1959 dosegel doktorat iz fizike. Do leta 1961 je delal na Cornellovi univerzi v ZDA. Nato se je vrnil na Svobodno univerzo v Bruslju in postal profesor za fiziko. Leta 1998 se je upokojil. Je tudi profesor na univerzi v Tel Avivu in Chapmanovi univerzi v Orangeu v Kaliforniji.

Peter Ware Higgs je bil rojen leta 1929 v Newcastleu upon Tyne. Najprej so ga poučevali doma, nato je obiskoval srednjo šolo v Bristolu in v Londonu.

Leta 1947 je stopil v Kraljevi kolidž in ga leta 1950 končal. Po doktoratu leta 1954 je bil do leta 1956 raziskovalec na univerzi v Edinburgu. Po delu na Kraljevem kolidžu in Univerzitetnem kolidžu v Londonu se je leta 1960 vrnil na univerzo v Edinburgu in leta 1980 postal profesor za teoretično fiziko. Leta 1996 se je upokojil.

Med delci snovi delujejo sile, ki jih v standardnem modelu opišemo kot *interakcije z delci polja*.

Delci polja elektromagnetne interakcije so fotoni γ ,

delci polja barvne interakcije so gluoni, ki jih je osem,

delci polja šibke interakcije so šibki bozoni W^+ , W^- in Z^0 .

V svetu velikih teles zaznamo gravitacijo in še elektromagnetno interakcijo kot elektromagnetno silo, ker imata *dolg doseg*. Barvne in šibke interakcije v svetu velikih teles neposredno ne zaznamo, ker imata *kratek doseg*. Za delce snovi velja *Paulijevo izključitveno načelo*: dva enaka delca snovi ne moreta zasedati istega stanja. Za delce polja to načelo ne velja in isto stanje lahko zasede več delcev polja. Opisana značilnost skupin delcev je povezana z vrtenjem, ki ga opiše *spin*. Delci snovi imajo polovičen spin $1/2$, $3/2$, ... in so *fermioni*, delci polja imajo cel spin 0, 1, 2 ... in so *bozoni*.

Elektromagnetno interakcijo opišemo z izmenjavanjem delcev polja fotonov med naelektrenimi delci snovi, na primer delovanje elektrona na elektron: prvi elektron izseva foton, drugi ga pogoltne in izseva, prvi ga pogoltne in izseva in tako dalje. Elektrona si izmenjavata en, dva, tri ... fotone. Ti fo-

toni so *virtualni*, njihove energije ne poznamo. Če je na voljo dovolj energije, nastane prost foton, ki ga zaznamo kot svetlobo ali drugo elektromagnetno valovanje. Tako opišemo z besedami zapleten računski postopek, ki je uporaben tudi za druge interakcije. Virtualni delec si energijo sposodi in jo mora vrniti, preden bi lahko to z merjenjem ugotovili. Čim bolj se oddalji, čim večji je doseg interakcije, tem manj energije si delec lahko sposodi. Energiji ustreza masa, zato imajo fotoni neomejen doseg in maso 0, šibki bozoni pa kratek doseg in veliko maso.

Kvarki nosijo barvni naboj, kot naelektreni delci nosijo električni naboj. Med delcema z barvnima nabojema deluje barvna interakcija. Delovanje protona na proton, protona na nevtron in nevtrona na nevtron je precej šibkejši preostanek barvne interakcije. Standardni model ne zajame najšibkejše interakcije od vseh, gravitacije, kar je njegova pomanjkljivost.

François Englert in Robert Brout ter Peter Higgs ter Gerald Guralnik, Carl Richard Hagen in Tom Kibble so leta 1964 v treh zelo kratkih člankih opisali *spontani zlom simetrije*, s katerim delci brez mase dobijo maso. »Spontano« pomeni, da pride do tega samo od sebe, brez zunanjega delovanja in ne da bi prizadelo račune, ki temeljijo na



Slika v gradivu ob letošnji nagradi ponazarja, kako je Higgsov bozon kot zadnji del sestavljanke dopolnil standardni model delcev.

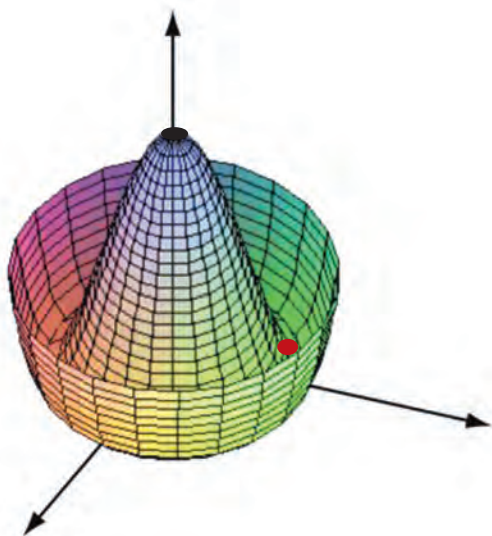
osnovni simetriji. Pozneje so o tem napisali še več člankov, ki so ostali domala neopaženi. Standarni model še ni bil dovolj razvit.

Leta 1967 sta Steven Weinberg in Abdus Salam neodvisno drug od drugega na podlagi zamisli Sheldona Glashowa iz leta 1961 razvila teorijo, ki je na enaki osnovi zajela elektromagnetno in šibko interakcijo. Ker imajo fotoni maso 0 in šibki bozoni veliko maso, sta dodala štiri polja. Tri od njih so imela edini učinek, da so na Higgsov način dala maso trem šibkim bozonom. Četrto polje je preostalo, ker ima foton maso 0. To je *Higgsovo polje* in njegov delec *Higgsov bozon* se pojavi kot prost, če je na voljo dovolj energije. Higgsovo polje je *skalarno*, v vsaki točki prostora ga opiše en sam podatek. Izjemno je po tem, da ima tedaj, ko ni Higgsovih bozonov, v *vakuumu*, precejšnjo energijo. To je drugače kot pri elektromagnetnem polju, ki ima najmanjšo energijo, ko ni fotonov. Interakcija s Higgsovim poljem da leptonom in kvarkom maso.

Tudi Weinbergovo in Salamovo delo je ostalo dolgo časa neopaženo. Zdelo se je, da se pri elektrošibki interakciji pojavijo ne-

skončni izrazi s še slabšimi lastnostmi kot pri elektromagnetni interakciji. Mislili so, da elektrošibke teorije ni mogoče renormalizirati. V letih 1971 in 1972 pa sta se Gerardus 'tHooft in njegov mentor Martinus Veltman prepričala, da je teorijo mogoče renormalizirati. To je korenito spremenilo odnos do teorije. Weinbergov članek s predlogom elektrošibke teorije je postal največkrat citirani članek.

Higgsov bozon so iskali vse od uvedbe elektrošibke teorije. Teorija ni napovedala njegove mase, domnevali pa so, da je velika. Poleti 2012 sta mednarodni raziskovalni skupini ob merilnikih ATLAS in CMS v Cernu objavili vest, da jima je uspelo potrditi obstoj Higgsovega bozona z maso, 135-krat večjo od mase protona, in z napovedanimi lastnostmi. Odtlej so vsi pričakovali, da bodo nagrajeni fiziki, ki so Higgsov bozon napovedali. Zares so Englert, Brout in Higgs leta 2004 dobili izraelsko Wolfovo nagrado, Englert, Brout, Higgs, Guralnik, Hagen in Kibble leta 2010 ameriško Sakuraijevo nagrado ter Englert in Higgs letos špansko nagrado asturijskega princa. Nobelove nagrade za teoretično napoved ne podelijo, dokler je ne podprejo merjenja. Brout



Tako si predstavljamo spontani zlom simetrije v Higgsovem polju. Vse smeri so enakovredne, a v danem primeru je ena od njih odlikovana. »Sombbrero« ali »dno šampanjske steklenice« ponazarja energijo v Higgsovem polju. Ob osi, ko ni Higgsovih bozonov, je v simetričnih razmerah gostota energije Higgsovega polja velika (črna pika), najmanjša je po zlomu simetrije, ko obstajajo Higgsovi bozoni (rdeča pika).

je leta 2011 umrl in nagrade ne morejo deliti na več kot tri dele.

Standardni model delcev, ki ga imajo nekateri za največji dosežek fizike v dvajsetem stoletju, uspešno opiše domala vse znane pojave. Vendar ima pomanjkljivosti. Ne pojasni, da se nevtrini spreminjajo iz enega rodu v drugega in imajo od nič različno maso. Ne pojasni *temne snovi* in *temne energije* v vesolju ter tega, da je nastalo v vesolju enako število delcev in antidelcev, a v njem zdaj izrazito prevladujejo delci.

Po naključju se mehanizem imenuje samo po Higgsu. Higgs sam je menil, da so zanj zaslužni vsaj Phil Anderson, ki ga je zasulil ob obravnavanju superprevodnosti, Brout, Englert, Guralnik, Higgs, Kibble in t'Hooft.

Pri nastajanju modela in njegovem preizkusu so poleg navedenih raziskovalcev sodelovali še številni drugi. O tem priča poleg naštetih vsaj dvanajst Nobelovih nagrad za teoretične napovedi in odkritje napovedanih delcev. Razvoj je tesno povezan tudi z napredkom v gradnji trkalnikov in merilnikov.

Spomnimo se nekaterih Nobelovih nagrad, povezanih z letošnjo nagrado.

Leta 1965 so si nagrado delili Richard Feynman, Julian Schwinger in Sin-Itiro Tomonaga »za fundamentalno delo v kvantni elektrodinamiki z globokimi posledicami za fiziko osnovnih delcev«. Z računskim postopkom *renormalizacija* so obvladali izraze, ki narastejo čez vse meje. Ob vsakem takem izrazu se pojavi izraz z nasprotnim znakom, ki tudi naraste čez vse meje in prejšnjega izravna. Po tej poti izračunajo rezultate, ki se z izmerjenimi podatki ujemajo na deset mest natančno ali bolj. Od odkritja do nagrade je poteklo približno sedemnajst let.

Nagrado za leto 1979 so dobili Američan Sheldon Glashow, Pakistanec Abdus Salam (medtem je umrl) in Američan Steven Weinberg »za prispevke k teoriji poenotene šibke in elektromagnetne interakcije med osnovnimi delci«. Od odkritja do nagrade je poteklo dvanajst let.

Nobelovo nagrado iz fizike za leto 1999 sta dobila Nizozemca Gerardus t'Hooft in Martinus Veltman, ki sta »fiziko delcev postavila na trdnejše matematične temelje. Posebej sta pokazala, kako naj uporabijo teorijo za natančno računanje fizikalnih količin«, in »osvetlila kvantno naravo elektrošibke interakcije«. Od odkritja do nagrade je poteklo sedemindvajset let.

Polovico Nobelove nagrade za leto 2008 je dobil Američan japonskega rodu Joičiro Nambu »za odkritje spontano zlomljene simetrije v subatomske fiziki«. Nambu je raziskoval teoretične osnove superprevodnosti, ki sodi v fiziko trdnin. Pri zelo nizki temperaturi elektroni po nekaterih kristalih potujejo brez upora. Leta 1960 je opis prenesel v fiziko delcev. Od odkritja do nagrade je preteklo sedeminštirideset let. Englert, Higgs in drugi so leta 1964 razširili Nambujev prijem in našli način, ki delcem ob spontanem zlomu simetrije podeli veliko maso. Od odkritja do nagrade je preteklo devetinštirideset let. Drugo polovico nagrade sta si delila Japonca Makoto Kobajaši in Tošihido Maskava »za odkritje izvira zlomljene simetrije, ki napoveduje obstoj vsaj treh rodov kvarkov v naravi«. Od odkritja do nagrade je preteklo štirideset let.

Literatura:

The Royal Swedish Academy of Science, Here at last, The Nobel Prize in Physics 2013, Popular Science Background.