

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 13 (1985/1986)

Številka 3

Strani 144-151

Janez Strnad:

STOLETNICA BOHROVEGA ROJSTVA

Ključne besede: fizika.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/13/785-Strnad.pdf>

© 1986 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.

STOLETNICA BOHROVEGA ROJSTVA

Lansko jesen so po vsem svetu proslavili stoletnico rojstva danskega fizika Nielsa Bohra. Po vplivu, ki ga je imel na razvoj fizike, sodi Bohr med najznamenitejše fizike.

Ob redkih priložnostih izjemen um, kot so bili na primer Maxwell, Bohr ali Einstein, spremeni smer in hitrost napredka. Sicer pa napreduje fizika s preskušanjem in z zmotami, kakor v splošnem vsaka človeška dejavnost.

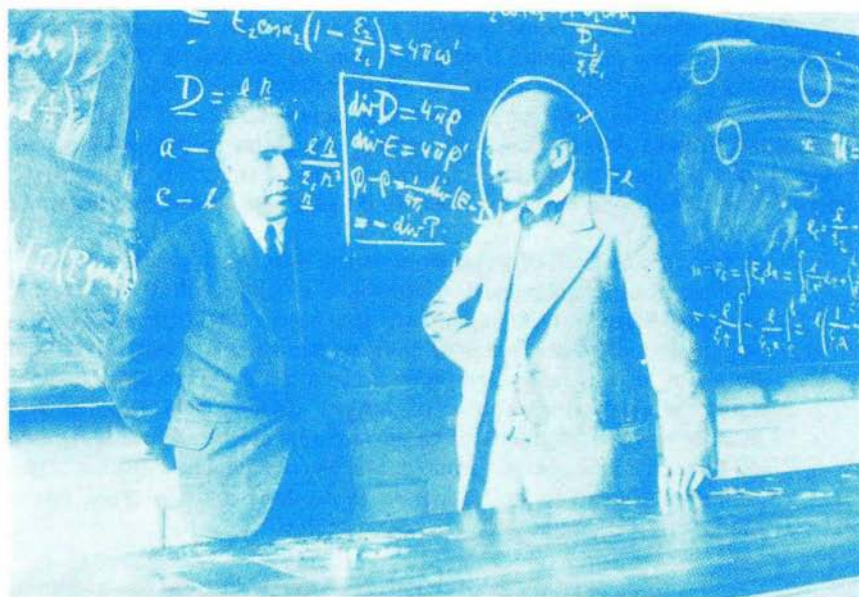
O. R. Frisch, *The first subatomic particle*,
New Scientist 76 (1977), str. 408

Fizikalni šoli, ki jo je osnoval v Kopenhagnu, so za krajši ali daljši čas pripadali številni fiziki z vsega sveta. Ti so razširili Bohrov pogled na svet na vse štiri strani neba. Njihovi učenci in učenci njihovih učencev se bodo na sestankih in proslavah, v člankih in v knjigah s spoštovanjem spomnili učitelja.

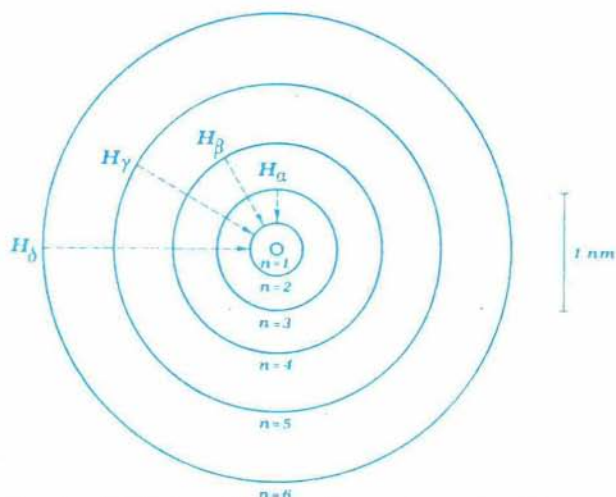
Prav je, da tudi Presek posveti tej obletnici nekaj strani.

Niels Henrik David Bohr je bil rojen 7. oktobra 1885 v Kopenhagnu. Leta 1903 se je vpisal tam na univerzo in končal študij leta 1911 z doktorskim delom o elektronih v kovinah. Nato je dve leti delal pri J.J. Thomsonu v Cambridgeu. Vendar Thomsona Bohrovo delo ni zanimalo, zato se je Bohr raje preselil k E. Rutherfordu v Manchester. Rutherfordova sodelavca sta malo prej ugotovila, da se maloštevilni delci α iz radioaktivnega izvira na zelo tankem kovinskem lističu odklonijo celo nazaj. Rutherford je pojav pojasnil z modelom atoma: V sredini je težko pozitivno jedro, okoli njega pa se gibljejo zelo lahki negativni elektroni. Na eni strani je bil ta *model atoma kot osončja* zelo privlačen, na drugi strani pa je imel resno pomanjkljivost. Po Maxwellovi teoriji električnega in magnetnega polja bi morali pospešeno se gibajoči elektroni sevati elektromagnetno valovanje. Treba je namreč upoštevati, da je tudi enakomerno kroženje pospešeno gibanje. Tako bi krožeči elektroni izgubljali energijo, se bližali jedru in naposled padli vanj. Atomi sploh ne bi bili obstojni. Bohr pa je postavil, da je kinetična energija krožečega elektrona sorazmerna s frekvenco kroženja in da je sorazmernostni koeficient približno tolikšen kot Planckova konstanta. Podobno je postavil 13 let pred tem Max Planck, da je energija nihajočih naelektranih delcev sorazmerna s frekvenco, sorazmernostni koeficient pa so pozneje njemu na čast imenovali *Planckova konstanta*.

Po tej poti je prišel Bohr do popolnoma nove slike o vodikovem atomu, ki je od vseh najpreprostejši in v katerem kroži okoli jedra en sam elektron. Elektron se giblje okoli jedra le po krogih z *določenim radijem* in tedaj ne seva



Slika 1. Niels Bohr in Max Planck



Slika 2. Krožni elektronski tiri z določenim radijem v vodikovem atomu. Po Bohru atom ne seva, dokler se elektron giblje po enem od takih tirov, seva pa, ko preskoči na tir z manjšim radijem. Vrisani so preskoki, ki jim ustrezajo štiri črte v vidnem delu vodikovega spektra. Dandanes si gibanja elektronov v atomu in prehodov med stanji ne predstavljamo tako nazorno.

(slika 2). Seva samo, če preskoči s kroga z večjim radijem na krog z manjšim. S tema privzetskoma je pojasnil Balmerjevo enačbo za valovno dolžino spektralnih črt v svetlobi, ki jo seva vodik (*Stoletnica Balmerjeve enačbe*, Presek 12 (1984/85), str. 103). Poleg tega je napovedal valovne dolžine spektralnih črt v svetlobi, ki jo seva enkrat ionizirani helij. Danes si ne znamo predstavljati, kakšen uspeh je bila ta prva teorijska podpora merskih podatkov o spektralnih črtah atomov. Malo prej se je še zdelo, da jih sploh ne bo mogoče pojasniti.

V tem kritičnem ploščaju je Bohr vstavil eno samo besedo. Po Maxwellovo bi se moralo glasiti: elektroni, ki se gibljejo okoli jedra, sevajo in padejo v jedro. Bohr je namesto tega smelo predložil: elektroni, ki se gibljejo okoli jedra, ne sevajo in ne padejo v jedro. S tem odločilnim korakom je rešil model, po katerem je atom podoben osončju in ki zaradi Maxwellovih enačb ni bil mogoč. Zdaj je Bohr lahko prosto izbiral nova pravila, ne da bi ga pri tem omejevali stari zakoni. Hodeč po tako očiščeni poti je zamenjal Maxwellove enačbe z dvema privzetskoma, ki si ju je izmislil nalašč za to, da je obšel še drugo veliko hibo atoma—osončja: vstavil mu je hrbtnico.

B.Hoffmann, *The strange story of the quantum*,
Dover, New York 1959, str. 53

Vendar so leta 1913 nekateri sodobniki gledali na Bohrovo novo teorijo o atomih z nezaupanjem. Počasi pa se je le uveljavila. Istega leta je postal Bohr predavatelj na univerzi v Kopenhagnu. V letih 1914 — 1916 je bil predavatelj na univerzi v Manchestru. Leta 1916 je postal profesor za teorijsko fiziko na univerzi v Kopenhagnu in leta 1917 so ga izbrali za člana danske Akademije znanosti in umetnosti. Leta 1921 so v Kopenhagnu odprli univerzitetni Inštitut za teorijsko fiziko, dom Bohrove fizikalne šole. Leta 1922 je dobil Nobelovo nagrado za fiziko.

Istega leta je naredil pomemben korak, ko je s fizikalnega vidika, z zgradbo atomov, pojasnil periodno preglednico elementov. S tem je vzpostavil vez med kemijo in fiziko. S svojim delom je Niels Bohr sprožil razvoj nove — kvantne mehanike, ki se je končal leta 1926 z delom Wernerja Heisenberga in Erwina Schrödingerja. Tedaj so nadomestili Bohrov model atoma z določenimi tiri elektrona z novim pogledom, v katerem sploh ni mogoče trditi, da se elektron giblje po tiru. Elektronu v dani točki sploh ni mogoče natančno izmeriti hitrosti. Bohra so zanimale tudi osnove kvantne mehanike in s tem vprašanja, ki mejijo na filozofijo. Leta 1927 je podrobno raziskoval vprašanje merjenja v atomski fiziki in postavil načelo komplementarnosti. Elektroni se pri nekaterih poskusih vedejo kot delci, na primer izstrelki iz puške, pri drugih pa kot nekakšno valovanje. Načelo komplementarnosti zagotavlja, da nobeden od obeh opisov ne zadostuje, šele oba skupaj se dopolnita v kolikor mogoče celovito



Slika 3. N. Bohr in A. Einstein v času njune razprave na Solvayevem kongresu leta 1930

sliko pojavov. S svojim delom je Bohr razkril novo naravo kvantne mehanike. Pri tem ni imel lahkega dela, saj se opis pojavov z elektroni bistveno razlikuje od opisa pojavov v svetu velikih teles, iz katerega nabiramo vsakdanje izkušnje. Prispeval je bistveni delež k razvoju pogleda na kvantno mehaniko, ki mu danes pritrjuje večina fizikov in ki je znan kot *kopenhaški pogled*. Zato Bohra upravičeno štejejo — poleg Einsteina in Plancka — za enega od očetov kvantne mehanike.

Bohrova razprava z Einsteinom, ki je odklanjal ta pogled na kvantno mehaniko, je ena najznamenitejših razprav v fiziki. Na znanstvenih sestankih ali ob priložnostnih srečanjih sta se zapletla v dolge pogovore, ki jim včasih ni manjkalo dramatičnosti. Einstein je poskušal z zgledi pokazati, da vodi kvantna mehanika do notranjih nasprotij ali da vsaj ne zagotavlja popolnega opisa. Bohr pa je, včasih šele po napornem premisleku — nekoč je zanj porabil vso noč, vedno uspešno izpodbil njegove ugovore.

Redkokdaj v življenju mi je kdo zbudil tolikšno zadovoljstvo že s svojo golo prisotnostjo kot Vi. Veliko sem se naučil od Vas, predvsem od tega, kako premišljeno se lotevate znanstvenih problemov.

A. Einstein v pismu N. Bohru

Einstein in Bohr sta se imela vroče in iskreno rada.

Helen Dukas, Einsteinova tajnica

Pozneje se je Bohr posvetil jedrski fiziki. Leta 1936 je postavil *model atomskega jedra kot kapljice*. V usodnem letu 1939 sta Otto Hahn in Fritz Strassmann v uranu, ki sta ga obstreljevala z nevtroni, odkrila barij. Otto Frisch in Lise Meitner sta to pojasnila s cepitvijo uranovega jedra. O tem sta obvestila Bohra, ki je vest še vročo zanesel v Združene države in sprožil mrzlično dejavnost. Sam je skupaj z Johnom Wheelerjem prispeval teorijo jedrske cepitve: uranovo jedro zaniha kot podolgovata kapljica, ko ga zadene nevtron. Ker se deli jedra zaradi pozitivnega naboja odbijajo med seboj, se ne more umiriti in se razdeli na dve kapljici. Bohr in Wheeler sta pri tem uvidela, da cepijo nevtroni samo lažji uranov izotop 235, ne pa težjega 238, ki ga je v naravnem uranu največ.

Bohr se je leta 1940 vrnil v domovino in padel v roke Nemcem, ki so Dansko okupirali. Do leta 1943 je lahko dokaj nemoteno delal, tedaj pa so mu postala tla prevročna in je z ženo in otroci pobegnil na Švedsko. Pobeg preko preliva v majhnem ribiškem čolnu je bil prava pustolovščina. Iz Švedske so ga prepeljali z angleškim vojaškim letalom v Anglijo. Bohru so bile slušalke premajhne, zato ni slišal pilotovega navodila, da naj si natakne kisikovo masko.

Padel je v nezavest in polet bi se lahko žalostno končal, če bi pilot ne zaslutil, da je nekaj narobe, in se spustil niže.

V Angliji se je Bohr skupaj s svojim sinom Agejem, ki je študiral fiziko (Nobelovo nagrado je dobil leta 1975), najprej pridružil angleškim strokovnjakom. Skupaj z njimi je prešel v ZDA, ko so združili angleški in ameriški načrt za izdelavo jedrske bombe. Bohr se je v okupirani Danski pogovarjal s Heisenbergom, ki ga je prišel obiskat. Moža, ki sta bila pred vojno dobra prijatelja, si v pogovoru nista več mogla zaupati. Bohr je najbrž napačno razumel Heisenberga, da poskušajo tudi Nemci izdelati jedrsko bombo. Zato ni nasprotoval ameriško–angleškemu načrtu. Že zelo zgodaj pa je zagovarjal mednarodno nadzorstvo nad jedrskim orožjem kot edino zdravilo proti povojni oboroževalni tekmi. S tem si je nakopal nenaklonjenost nekaterih vojaških krogov. Leta 1945 se je vrnil na Dansko in leta 1950 napisal odprto prismo Združenim narodom. V njem je razločno opredelil svoje poglede. Leta 1955 je postal predsednik danske komisije za jedrsko energijo. Umrl je v Kopenhagenu leta 1962.

Na predavanju v Moskvi ob zadnjem obisku v SZ so Nielsa Bohra vprašali, kako je uspel osnovati tako slavno in prvovrstno šolo teorijske fizike. Odvrnil je: "Najbrž zato, ker me ni bilo nikdar sram priznati svojim študentom, da sem neumen." Predavanje je prevajal E. Lifšic, najbližji sodelavec L. Landaua [ta je osnoval podobno šolo v Moskvi]. Odlomek je prevedel takole: "Verjetno zato, ker me ni bilo nikoli sram reči svojim študentom, da so neumni." Lifšiceva napaka je izzvala obilo smeha. Prevajalec se je zavedel in se opravičil. P. Kapica, ki je bil tudi med poslušalci, je pripomnil, da napaka ni bila naključna: "Prav v tem leži razlika med Bohrovo in Landauovo šolo teorijske fizike."

F. Janouch, *Lev D. Landau, His life and work*,
CERN 79 – 03, Geneva 1979, str. 13

Od Bohrovih značajskih potez postavljajo na prvo mesto njegovo dobrotljivost. Učence in goste je enako gostoljubno sprejel na svojem inštitutu kot pri sebi doma ali v letni hiši. Bil je nadvse spreten pri delu z rokami. Rad je delal z lesom in mizaril. O njem kroži veliko zabavnih zgodb, tako da so z njimi napolnili celo knjigo. Nekaj zgodb zadeva tudi Bohrovo pisavo in njegovo nastopanje na javnih predavanjih.

Bohr je z veliko pozornostjo oblikoval svoje članke. Toda pisanje s peresom ali kredo mu ni šlo od rok. Raje je narekoval. Ob eni redkih priložnosti, ko sem ga videl zares pisati, je naredil najmenitnejše dejanje v lepomislu, kar sem jim bil priča.

V letni hiši v Tisveldeju smo se pogovarjali o predavanju, ki naj bi ga

imel Bohr ob tristoletnici Newtonovega rojstva. Bohr je stal pred tablo in je napisal nanjo nekaj splošnih tem za predavanje. Ena od njih je imela opraviti s harmonijo tega ali onega. Zato je napisal besedo harmonija (harmony) nekako takole



Med razpravo je postal nezadovoljen s harmonijo. Nemirno se je sprehajal sem ter tja. Nato se je ustavil in njegov obraz se je razjasnil: "Jo že imam! Harmonijo moramo spremeniti v enakomerno (uniformity)". Zopet je vzel kredo, nekaj časa gledal napisano in z zmagoslavnim udarcem krede po tabli naredil tole spremembo



Bohra sem srečal zopet čez dva meseca na proslavi dvestoletnice princetonske univerze. Prosil me je, da bi prebil z njim nekaj časa v pripravah na predavanje ob tej priložnosti. To sem storil in tako sem vedel, kako skrbno si je pripravil dobro razčlenjene misli. Toda spominjam se svojega presenečenja na predavanju, pri katerem ni uporabljal zapiskov. Dotlej Bohra še nisem slišal govoriti v javnosti.

Ob tej izkušnji mi je prišla na misel zgodba o violinistu Eugeniu Issayu, ki je poučeval članico kraljevske družine. Drugi znani glasbenik (ki mu dolgujem zgodbo) ga je nekoč vprašal, kako učenka napreduje. Issaye je obrnil roke k nebu in zavzdihnil: "Oh, njeno veličanstvo igra božansko slabo."

Četudi se ozadje v obeh primerih razlikuje, te besede najbolj označujejo zadevo. Bohr je bil kot govornik božansko slab. To ni izviral iz njegovega nauka, da naj človek ne govori jasneje, kot misli. Če bi se ravnal po njem, bi bilo precej drugače, ker je Bohr mislil zelo jasno. Tudi ni krivo to, da njegov glas ni nesel daleč, zaradi česar ga v zadnjih vrstah niso slišali. Glavni razlog je v tem, da se je Bohr globoko zamislil, ko je govoril. Spominjam se, kako je končal del misli in nato rekel "in ... in", nato je skoraj za sekundo utihnil in rekel "toda" in nadaljeval. Med "in" in "toda" je šel skozi njegovo glavo preostali del

misli, a pozabil ga je glasno povedati in je povzel misel šele na koncu. Zame je bila misel brez vrzeli, saj sem natančno vedel, kako je treba izpolniti vrzel, ki jo je pustil Bohr. Zato se je zgodilo več kot enkrat, da sem videl poslušalce, ki so zapuščali Bohrovo predavanje rahlo vznemirjeni, čeprav se je Bohr nanj temeljito pripravil.

*A.Pais, Reminiscences from the post-war years,
Niels Bohr, His life as seen by his friends and
colleagues, S.Rozental (ur.), North Holland,
Amsterdam 1968, str. 213*

Na koncu moramo poudariti pomembno potezo Bohrovega pogleda na fiziko. Ko se je lotil raziskovanja atomov, se je Bohr od vsega začetka zavedal, da stara teorija ne more pojasniti poskusov, in je zavestno iskal novo pot. Po tem se je razločeval od velike večine tedanjih fizikov.

Janez Strnad
