

# Werner Heisenberg - čovjek i djelo : prigodom 100. obljetnice Heisenbergovog rođenja

---

**Petković, Tomislav**

Source / Izvornik: **Matematičko fizički list, 2001, 208, 226 - 228**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:121796>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-03**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)



## Werner Heisenberg – čovjek i djelo

## Prigodom 100. obljetnice Heisenbergovog rođenja

Tomislav Petković<sup>1</sup>, Zagreb

U Max-Planck institutu za fiziku (Werner-Heisenberg institutu) od 6. do 7. prosinca 2001. godine, u velikoj predavaonici Ludwig Maximilians Sveučilišta u Münchenu, održao se simpozij pod naslovom "Razvoji u modernoj fizici" posvećen 100. obljetnici Heisenbergovog rođenja. Najugledniji fizičari govorili su o najtežim pitanjima suvremene teorijske i eksperimentalne fizike, te filozofijskoj refleksiji o njima.



**Heisenberg, Werner Karl**, (Würzburg, 5. XII. 1901. – München 1. II. 1976.), njemački fizičar i filozof, jedan od najvećih teorijskih fizičara 20. stoljeća, dobitnik je Nobelove nagrade 1932. godine za temeljne principe i otkrića u kvantnoj mehanici, koja su dovela do potpunog objašnjenja građe vodikovog atoma. K tome, status originalnog i utjecajnog filozofa Heisenberg je stekao plodnim promišljanjem mnogih važnih filozofskih problema i pitanja iz područja fizike i spoznaje. Heisenberg se rodio i rastao u obitelji koju je naročito krasila klasična filologija i kultura, te se i školovao u *Maxmilians-Gymnasium* u Münchenu, najboljoj humanističkoj gimnaziji u Bavarskoj.

Bio je marljiv i nadaren učenik, izvrsno je izvršavao svoje obveze, savladavajući gradivo samostalno i prije roka. Isticao se u matematici, pa je diferencijalni i integralni račun sam savladao, a naročito se zanimao za eliptičke funkcije i teoriju brojeva. Nakon mature, započeo je najprije studij matematike na Sveučilištu u Münchenu, da bi potom prešao na studij teorijske fizike. Arnold Sommerfeld, u to doba najpoznatiji njemački fizičar, na svom seminaru u kojem se izučavala teorija relativnosti, atomska i kvantna teorija, uočio je vrlo brzo izniman Heisenbergov talent. Tijekom studija, Heisenberg se naročito bavio problemima hidrodinamike na jednoj strani, i anomalnim Zeemanovim efektom na drugoj. Tijekom akademske godine 1922./23. često je odlazio u Göttingen na *Bohrove dane*, posvećene kvantnoj teoriji i atomskoj strukturi. Tamo je susretao najpoznatije fizičare toga doba: M. Borna, P. Ehrenfesta, J. Francka, H. A. Kramersa, A. Landéa, a povrh svega naučio je stroge matematičke metode poznate Hilbertove škole matematike. Doktorat iz fizike o problemu nastajanja vrtloga (*Kármánova aleja vrtloga*) obranio je 1923. godine. Sommerfeld je bio oduševljen teorijskim rezultatima i metodama Heisenbergova rada, te je na njegovu preporuku postao Bornov asistent u Göttingenu. Početkom 1924. godine prvi put je posjetio Bohrov institut u Kopenhagenu, da bi u narednim godinama često posjećivao Bohra. U to je doba Heisenberg već objavio radove iz atomske i molekulske teorije (objašnjenje Zeemanovog efekta, račun intenziteta atomskih linija, objašnjenje rezonantne fluorescencije).

<sup>1</sup> Autor je redoviti profesor fizike u Zavodu za primijenjenu fiziku FER-a Sveučilišta u Zagrebu, bavi se mezonskom fizikom te filozofijom znanosti.

Heisenberg se zarana suočio sa svim problemima kvantne mehanike, napose kompliciranih atomskih i molekulskih spektara. Veliki je Heisenbergov doprinos u izračunu intenziteta linija vodikovog spektra. Pomoću novih kvantnoteorijskih pravila množenja za koeficijente u Fourierovim redovima za anharmoničke oscilatore, Heisenberg je dobio rješenja jednadžbi gibanja za vodikov sustav. Bili su to novi kvantni uvjeti koji su kasnije poopćeni u *komutacijsko pravilo matrica* u radovima zajedno s Bornom i Jordanom. Radovi trojice fizičara odlučujuće su utjecali na daljnji razvoj kvantne mehanike: izračune vlastitih stanja vodikovih atoma (Pauli), proširenje mehanike matrica u mehaniku operatora i time na neprekinuta gibanja, Diracovu metodu  $q$ -brojeva za višeelektronske atome, relativistički Comptonov efekt, finu strukturu vodikovih spektara, te izračune stanja helijeve atoma. Godine 1926. Heisenberg je promoviran u predavača u Bohrovu institutu u Kopenhagenu, kada zapravo započinju njihove povijesne diskusije o kvantnoj mehanici. Potaknut Schrödingerovom valnom jednadžbom, napose fizikalnim značenjem kvadrata valne funkcije kao njenog rješenja (što je 1926. Born razriješio predodžbom statističke vjerojatnosti), Heisenberg je najdublje bio zainteresiran problemom zornih predodžbi veličina u kvantnoteorijskoj kinematici i mehanici. Rezultat te analize su fundamentalne Heisenbergove relacije neodređenosti. Otrprilike istovremeno, Bohr je formulirao *princip komplementarnosti* u atomskoj fizici, koji vrijedi za istodobni prikaz čestične i valne slike objekata u njoj. Općenito se uzima da su Bornovo statističko tumačenje valne funkcije, Heisenbergove relacije neodređenosti, te Bohrov princip komplementarnosti temelji *kopenhagenske interpretacije* kvantne mehanike. Ona je izbrušena i dotjerana kada ju je kritički napadao Albert Einstein, posebice u zajedničkom radu s Podolskim i Rosenom 1935. godine (Einstein-Podolsky-Rosenov paradoks ili argument).

Godine 1927. Heisenberg je kao 25-godišnjak preuzeo mjesto profesora teorijske fizike na Sveučilištu u Leipzigu. U njegovu institutu pridružio mu se F. Hund 1929. kao drugi teorijski fizičar, da bi zajedno s matematičarem B. L. van der Waerdenom sastavili poznati *Leipciški krug* moderne fizike. U Heisenbergovu institutu u Leipzigu surađivali su ili studirali F. Bloch, R. Peierls, E. Teller, H. Euler, L. Rosenfeld, V. Weisskopf, C. F. Weizsäcker. U ovoj fazi života i rada, Heisenberg se bavio primjenom i proširenjem kvantne mehanike. Važni su njegovi doprinosi iz 1928. o kvantnomehaničkom objašnjenju feromagnetizma (Weissovog polja) te u otkriću spinskih valova (zajedno s Hundom i Blochom). Tada započinje i njegova suradnja s W. Paulijem, tada profesorom teorijske fizike na ETH u Zürichu, u razvoju relativističke kvantne teorije polja i najtežim problemom divergencija u njoj. Fundamentalni je Heisenbergov doprinos iz 1932. godine neutronske-protonske model jezgre, što ga je razvio ubrzo nakon otkrića neutrona. Formulirao je *izotopni spin* ili *izospin* opisan odgovarajućim matricama nukleonskog stanja, kojim se opisuje simetrija nuklearne sile bez obzira na nabijeni proton odnosno neutralni neutron u jezgri. U razdoblju do početka Drugog svjetskog rata, Heisenberg se bavio proširenjem kvantne mehanike na kemiju i biologiju te graničnim područjima između njih i fizike, baveći se i temeljnim filozofijskim promjenama koje je kvantna mehanika unosila u mikroskopsku sliku svijeta. U tom razdoblju najplodnija i najveća je bila njegova suradnja s Bohrom u Kopenhagenu i Paulijem u Zürichu. U okviru relativističke kvantne teorije polja, Heisenberg se naročito bavio elementarnim procesima u kozmičkom zračenju visokih energija, da bi 1942. postao direktorom *Kaiser-Wilhelm Instituta* za fiziku u Berlinu, gdje se uglavnom bavio teorijskim istraživanjem kozmičkog zračenja. Suradivao je i u grupi koja je teorijski i eksperimentalno istraživala mogućnosti izgradnje nuklearnog reaktora na bazi fisije urana sporim neutronima, što je potkraj rata dovelo do konstrukcije prvog njemačkog istraživačkog reaktora u Haigerlochu. Heisenberg je 1945. s ostalim njemačkim fizičarima bio progнан i zatočen u *Farm Hall* kraj Cambridgea. Vraćen je u Zapadnu Njemačku



3. siječnja 1946. da bi silnom energijom prionuo obnovi teorijske i eksperimentalne fizike. Heisenberg se svesrdno angažira u podizanju novih instituta (na primjer, Max-Planck institut). Njegovim naporima podižu se instituti ili istraživački centri za fiziku jezgre, za elementarne čestice, za teoriju supravodljivosti, statističko istraživanje turbulencija (Berlin, Leipzig, Göttingen, Karlsruhe, München, . . .) diljem Njemačke. Heisenberg je bio inicijatorom i predvodnikom njemačkih delegacija u osnivanju CERN-a, svjetskih konferencija "Atoms for Peace", te u premještanju Max-Planck instituta za fiziku iz Göttingena u blizinu Münchena 1958. godine. Povratkom u München 1958. godine, Heisenberg pokreće spajanje postojećih instituta u Max-Planck institut za fiziku i astrofiziku, postajući njegovim voditeljem. U tom institutu istraživala se teorijski i eksperimentalno fizika čestica, astronomija i fizika zvijezda, te fizika plazme. Iz tog instituta izrasta 1960. poznati Laboratorij za fiziku plazme u Garchingu. Velika je bila Heisenbergova uloga u gradnji elektronskog akceleratora *DESY* pokraj Hamburga za istraživanja u fizici elementarnih čestica na visokim energijama. U istraživačkom smislu Heisenberg se sa svojom grupom bavio pitanjima temeljne teorije elementarnih čestica. Naročito se bavio fizikom bariona, pa je predvidio, na primjer,  $\eta$  mezon koji je kasnije i otkriven. U teorijskim pokušajima Heisenberg se često pozivao na Platonovu temeljnu sliku materije u obliku jednostavnih geometrijskih oblika. Potkraj života Heisenberg se aktivno bavio interdisciplinarnim odnosom fizike, filozofije i religije, darujući znanstvenoj i široj javnosti niz značajnih radova o tome.

Od najranijih dana svoje znanstvene karijere pa sve do smrti, Heisenberg je marljivo pisao i znanstveno-filozofske radove o novoj slici svijeta na osnovama kvantne teorije, sučeljavajući je dotadašnjoj filozofskoj tradiciji. Zajedno s *Bohrom* i drugima, stvarao je slavnu *kopenhagensku interpretaciju kvantne mehanike*. To učenje se u općoj shemi svodi na rez između kvantnog objekta u mikrosvijetu opisanog eksperimentalno mjerljivim veličinama, što opisuju njegovu probabilističku narav i opažaća sa sveukupnom njegovom instrumentacijom, klasičnom fizikom i svakodnevnim jezikom. Međudjelovanjem (*aktom mjerenja*) mikroskopskog sustava i makroskopskog uređaja zbiva se događaj koji podliježe Heisenbergovim relacijama neodređenosti. Kvantna teorija narušila je ideal kauzalnosti klasične fizike i zato razvoj kopenhagenske interpretacije nije tekao glatko. Interpretaciju su već od začetka kritizirali mnogi istaknuti fizičari poput Einsteina, Schrödingera, de Brogliea i drugih, do modernih suparničkih teorija i/ili interpretacija kopenhagenskoj teoriji i interpretaciji kvantne mehanike (D. Bohm, H. Everett, J. A. Wheeler, J. S. Bell, H. P. Stapp, . . .). Temeljni motiv svih pokušaja reinterpretacije i pokušaja izmjene matematičkog formalizma standardne kvantne teorije jest teza o nepotpunosti Heisenberg-Bohrove kvantne mehanike. Potrebna je nova, dublja teorija u kojoj bi sve eksperimentalno mjerljive veličine bile utemeljene kao fizičke realnosti.

Heisenbergov utjecaj u razvoju zagrebačke škole teorijske fizike bio je presudan. Heisenbergovom kvantnom mehanikom i njegovim izravnim ili neizravnim utjecajem, započinje pravi razvitak hrvatske teorijske fizike. Heisenbergovi posjeti Zagrebu i Hrvatskoj rezultirali su uvijek pojačanim lokalnim interesima za fiziku i filozofiju. Heisenberg je jedan od najuglednijih svjetskih znanstvenika i filozofa koji su primili *počasni doktorat* Sveučilišta u Zagrebu, prigodom njegove 300. obljetnice. U hrvatskoj filozofiji znanosti, glede poimanja kvantne mehanike i njene interpretacije, te rasprostiranja takvog učenja u nastavu fizike i hrvatsku kulturu, najzaslužniji je fizičar i filozof *Ivan Supek*. Nije posrijedi samo njegovo najbolje kvantnomehaničko rodoslovlje, jer je I. Supek bio Heisenbergov student i učenik, niti trajna Supekova inspiracija Bohrovom filozofijom, niti razvoj zagrebačke škole teorijske fizike oko Supeka (Glaser, Jakšić, Alaga, Babić-Gjalski), već činjenica da je I. Supek napisao vrijedne knjige i članke o kvatnoj mehanici i filozofiji na hrvatskom jeziku. U hrvatskoj suvremenoj filozofiji, napose u filozofiji znanosti, Heisenbergovo djelo ima veliki odjek, a mnogi njegovi radovi iz filozofije znanosti predmet su istraživanja suvremenih hrvatskih filozofa i znanstvenika.