

Subjektivna interpretacija kvantne mehanike

Janez Strnad

Kvantna mehanika velja za najuspešnejšo fizikalno teorijo. Na širokem območju veljavnosti njenim napovedim ne nasprotuje nobena eksperimentalna izkušnja. A razprave o osnovah kvantne mehanike se vlečejo že domala sto let. Večine fizikov ne vznemirja, da obstaja, če je dovoljeno pretiravati, skoraj toliko *interpretacij* kvantne mehanike, kolikor je fizikov. Čeprav se interpretacije med seboj razlikujejo, vse pripeljejo do enakih napovedi, ki jih je mogoče preizkusiti z merjenji. *O interpretacijah kvantne mehanike* je *Proteus* poročal pred nedavnim: 73 (2010/2011): 414-421; 74 (2011/2012): 72-23. Prispevek smiselno nadaljuje poročilo.

N. David Mermin se je v reviji *Physics Today* zavzel za novo interpretacijo, potem ko je pred leti predložil itaško interpretacijo (po

Ithaci, sedežu Cornellove univerze). Prav je imel, ko je potožil, da se nove interpretacije pojavijo vsako leto, a nikoli nobena ne izgine.

V teoriji verjetnosti, ki je veliko starejša od kvantne mehanike, se tudi pojavijo vprašanja o osnovah. Carl Caves, Chris Fuchs in Ruediger Schack, ki se v ukvarjajo s teorijo kvantnih informacij, so leta 2002 objavili članek *Kvantne verjetnosti kot Bayesove verjetnosti*. V njem so zagotovili, da se težave kvantne mehanike, od katerih nekatere poznamo kot *paradokse*, razblinijo ali vsaj postanejo manj moteče, če verjetnost v njej razumemo subjektivno. Mermin, ki je novi pogled sprejel, je želel z njim seznaniti širši krog, ne da bi hotel pridobiti tiste, ki se ukvarjajo z osnovami kvantne mehanike. Ta pogled imenujejo *kvantni bayesianizem* ali krajše *QBizem* (kvbizem, kvubizem?).



Thomas Bayes (izgovorite bejz) (1702?-1761), angleški matematik in presbiterijanski duhovnik, je za življenja poleg teološkega prispevka objavil le članek, v katerem je Newtonovo »doktrino fluksij« branil pred ugovori. Leta 1842 so ga izvolili v Kraljevo družbo, angleško akademijo znanosti. Njegov Esej o reševanju problema iz doktrine naključij so prebrali v tej družbi dve leti po smrti. V prvih desetletjih 18. stoletja so rešili vprašanja o verjetnosti dogodkov v določenih okoliščinah, na primer kolkšna je verjetnost, da iz posode z določenim številom črnih in belih kroglic na slepo potegnemo črno kroglico. Bayes je obravnaval obmjenjo vprašanje: kaj lahko povemo o barvi kroglic v posodi, če smo potegnili določeno število kroglic dane barve. Razmišljal je o »največjem pričakovanju« (angleško »maximum likelihood«) in je verjetnost vpeljal kot subjektivno pričakovanje, da se bo dogodek zgodil. Tako je lahko razpravljal o verjetnosti osamljenega dogodka. Danes si z Bayesovo enačbo pomagamo pri računanju pogojnih verjetnosti, potem ko smo si pridobili nove izkušnje. Ni gotovo, da je Bayes mislil tako, kot mislijo današnji bayesianci. Vir slike: Wikipedia.

Poskusimo slediti Merminu in nakazati nekatere poglede QBizma. QBizem ne pozna *problema merjenja*. Zastopnik (v angleščini »agent«, »opazovalec« ima preveč drugačnih pomenov) na podlagi novih izkušenj brez težav spreminja *valovno funkcijo*, s katero opiše stanja fizikalnega sistema. To ne prizadene fizikalnega sistema, ampak le spremeni zastopnikova pričakovanja (angleško »belief«). Valovne funkcije tako niso lastnost sistema, ampak sodijo k zastopniku, ki upošteva vsakokratne izkušnje.

Kvantna mehanika trpi zaradi nejasnega in negotovega *premičnega preloma* (angleško »shifty split«, zveza Johna Bella) med kvantnim in klasičnim ali med mikroskopskim in makroskopskim. QBizem prelom postavi med svet, v katerem zastopnik živi, in njegove izkušnje o tem svetu. Premičnost, nejasnost in negotovost niso značilne za realni svet, ampak za mejo med tem svetom in izkušnjami različnih zastopnikov, ki uporabljajo kvantno mehaniko.

Po tem je verjetnost kakega dogodka osebno pričakovanje predstavnika o tem, ali se bo dogodek zgodil. To stališče je blizu Bayesovemu pojmovanju verjetnosti. Večina fizikov ne deli tega pojmovanja. Na verjetnost gleda »frekvenčno« in ima frekvenco za objektivni opis množice enako pripravljenih sistemov. Pri tem je relativna frekvenca razmerje števila ugodnih dogodkov in števila vseh dogodkov.

Kvantna mehanika se ukvarja s *kolapsom valovne funkcije*, ko se ob opazovanju valovna funkcija *sesuje*. Pred opazovanjem valovna funkcija zajame vsa dopustna stanja sistema, po opazovanju pa je sistem v enem samem od teh stanj. Ob tem se pojavi vprašanje, ali se ob kolapsu sporočilo prenese s hitrostjo, večjo od hitrosti svetlobe. Ali miš z opazovanjem lahko sesuje valovno funkcijo? Ali je za to potreben doktorat iz fizike? QBizem zagotovi, da miš ne more pozvračiti kolapsa valovne funkcije, a da za to ni potreben doktorat. Dovolj je, če se nekdo zaveda, kako z novimi izkušnjami dopolni prejšnje

pričakovanje. Česar ne zmore miš, zmore na primer študent fizike.

Kvantno mehaniko pesti *paradoks Schrödingerjeve mačke*. Mislimo na mačko v neprozornem zaboju z atomom, katerega jedro razpade z razpolovnim časom ene ure. Če jedro razpade, merilnik to zazna in povzroči, da kladivce razbije posodico s strupenim plinom, ki usmrti mačko. Po eni uri je atom z verjetnostjo $\frac{1}{2}$ razpadel. Valovno funkcijo mačke enakovredno sestavljata valovna funkcija mrtve mačke in valovna funkcija žive mačke. Mačka je z verjetnostjo $\frac{1}{2}$ živa in z enako verjetnostjo mrtva. Do kolapsa valovne funkcije pride, ko pogledamo v prostor in ugotovimo, da je mačka ali živa ali mrtva. V QBizmu ni paradoksa: valovna funkcija ne zadeva mačke, ampak zgolj zastopnikovo pričakovanje.

Na Merminov zapis je uredništvo revije *Physics Today* objavilo *Umerjene odzive na kvantni bayesianizem*. Štirje dopisniki so Merminu precej ostro ugovarjali in poudarili prednosti vsak svojega pogleda. Mermin je ugovore zavrnil in dodatno pojasnil nekatere zadeve. Zapisal je, da je kolaps valovne funkcije le upoštevanje novih podatkov. Poudaril je, da QBizem ne nasprotuje obstoju neke vrste fizikalne realnosti. Zanika pa, da obstajajo elementi realnosti pri prirejanju valovnih funkcij. Ne nasprotujejo pravilu Maxa Borna, da dobimo verjetnostno gostoto kot kvadrat absolutne vrednosti valovne funkcije, a nasprotujejo objektivnemu značaju, ki ga zastopniki frekvenčnega pogleda priredijo tej verjetnostni gostoti. Mermin je knjige o tej zadevi našel v knjižnici poslovne šole na Corneliovi univerzi, ne v matematični ali fizikalni knjižnici. Nazadnje je priznal, »da je QBizmu z nekaj pomembnimi izjemami kot splošen odgovor sledilo skomiganje z rameni«.

Še bolj je Mermin, ki je skupaj z Neilom Ashcroftom napisal zelo uspešen učbenik *Fizika trdne snovi*, pojasnil svoje stališče, ko ga je bralec revije *Physics Today* povprašal, kako bo QBizem vplival na ugotovitve

v knjigi. Odgovoril je, da je realist, a da njegov model realnosti počiva neposredno ali posredno na izkušnjah drugih. »Za vse praktične namene« (FAPP, zlobna Bellova kratica) kvantnim stanjem pripisuje realnost, ki mu omogoča, da izračuna verjetnost njegovih naslednjih izkušenj. Pri reševanju trdovratnih pojmovnih ugank (FROCC, duhovita Merminova kratica), kot sta »kvantno merjenje« ali »kvantna nelokalnost«, pa se mu zdi bistveno, da miselnemu orodju ne priredi reči. Ta vidik fizikalnih pojmov v učbeniku prepušča bralcu. Iz tega izvira pričakovanje, da se pogled na kvantno mehaniko ne bo spremenil, dobro pa je, če je širok krog obveščen o novostih.

Tudi tisti, ki prijazno gledajo na QBizem, opozarjajo na njegove pomanjkljivosti. Von Baeyer mu zameri, da še ne more pojasniti

zapletenih makroskopskih pojavov s preprostimi mikroskopskimi pojavi, kar zmorejo druge interpretacije. Po njegovem mnenju v tem pogledu QBizmu ne preostane nič drugega, kot da se z zbiranjem in upoštevanjem novih izkušenj približa poti, ki jo uberejo druge interpretacije.

Najbrž bi podroben pregled pokazal, da se pogledi vseh QBistov med seboj ne ujema jo do zadnje pike. Vsa razprava napeljuje na misel, da interpretacije kvantne mehanike pravzaprav ne sodijo v del fizike, ki kot druge veje naravoslovja trditve preizkusi z opazovanji in merjenji. Bolj sodijo na območje, ki nima niti dobro opredeljenega imena: osebna znanost, filozofija fizike, pogled na svet, in si ga vsakdo kroji po svojem okusu, če le ne nasprotuje zakonom fizike.

»Namen našega opisa narave ni razkriti pravo bistvo pojavov, ampak samo zasledovati, kolikor je to mogoče, povezave med množico vidikov naših izkušenj.«

Niels Bohr

»Bistveni korak na poti do znanstvenega mišljenja so naredili, ko so opustili prazno vero v obstoj flogistona, vesoljskega etra, absolutnega prostora in časa ... ali vil in čarovnic. Verjetnost, ki ji pripisujejo kako vrsto objektivnega obstoja, ni nič manj zavajajoča zabloda, varljiv poskus, da pozunanjijo ali materializirajo [prava] verjetnostna pričakovanja.«

Bruno de Finetti, 1990

»QBizem se ne odpove realistični interpretaciji narave. Posvari pa nas, da ne pomešamo narave z abstrakcijami, ki smo jih prebrisano izdelali, da bi kateremu koli zastopniku pomagali, da obravnava zelo dejanski vpliv narave na svojo notranjo izkušnjo.«

N. D. Mermin, 2012

»Nova različica kvantne teorije pomete z nenavadnimi paradoksi mikroskopskega sveta. Cena? Kvantna informacija obstaja samo v vaši domišljiji.«

H. Ch. von Baeyer, 2013

Literatura:

Baeyer, H. Ch. von, 2013: *Quantum weirdness? It's all in your mind. Scientific American*, 308 (6): 47-51.

Griffiths, R. B., Woo, Ch. H., Nauenberg, M., Hobson, A., Stacey, B., Mermin, N.D., 2012: *Measured responses to quantum Bayesianism. Physics Today*, 65 (12): 8-15.

Menéndez, J., 2013: *Impressionism, realism, and the aging of Ashcroft and Mermin. Physics Today*, 66 (6): 8.

Mermin, N. D., 2012: *Quantum mechanics: Fixing the shifty split. Physics Today*, 65 (8): 8-10.