

---

# MODELI PROCESA OPAZOVANJA V KLASIČNI IN KVANTNI FIZIKI

F e n o m e n o l o š k i   p r e t r e s

T i n a   B i l b a n

## Uvod

Proces opazovanja predstavlja temeljni, v posameznih obdobjih in različnih strokah bistveno različno in dodatno definiran, a vseskozi prisoten element znanstvene metode ali znanstvenega pristopa k predmetu obravnave, ne glede na razumevanje slednjih dveh v okviru posameznih analiz in teoretskih pristopov. Tako sam proces opazovanja v vlogi splošne odprtosti k življenjskemu svetu pogojuje in predhaja kakršnokoli znanstveno, filozofsko ali umetniško ukvarjanje s predmetom obravnave. Kot znanstveni proces opazovanja pa bistveno sestavlja kakršnokoli pridobivanje informacij, opisovanje obravnavanega pojava, eksperimentiranje ali testiranje hipoteze in pogojuje pridobivanje novega (znanstvenega) znanja.

Razumevanje znanstvenega opazovanja tako usmerja samo razumevanje znanosti in posledično splošni premislek o (trenutno) najustrežnejših znanstvenih teorijah ali paradigmah. Hkrati pa eksaktnost samega znanstvenega procesa opazovanja, ne le pri njegovi izvedbi, temveč prvenstveno pri njegovi teoretični zasnovi, pogojuje tudi eksaktnost znanstvenega opisa.

Za razumevanje procesa opazovanja je ključno vprašanje, kakšno je razmerje med opazovalcem, opazovanim in opazovanjem. Pri tem je opazovalec subjekt, ki pridobiva informacije/opazuje. Opazuje opazovano, ki je v temelju njegovega akta opazovanja. Opazovanje pa je opazovalčevo dejansko vedenje o opazovanem, njegova informacija o opazovanem, npr. klik v detektorju/informacija o polarizaciji fotona, podoba

planeta v teleskopu, rezultat meritve ali matematični opis gibanja predmeta. Opazovalec v procesu opazovanja postavlja vprašanje opazovanemu, opazovanje pa je odgovor opazovanega, odgovor o opazovanem, za opazovalca; torej je vedno bistveno določeno z opazovalčevim vpraševanjem samim, z njegovo orientacijo, ter z njegovim razumevanjem odgovora.

Pri tem se postavi vprašanje, ali je za znanstveni pristop k predmetu obravnave potrebno in smiselno izhajanje iz natančno strukturiranega procesa opazovanja ali pa je primernejši in bolj smiseln poenostavljen model, prilagojen specifični in avtomatizirani uporabi v moderni znanosti. Je refleksija samega procesa opazovanja nujna tudi za samo znanost ali pa gre vedno za ločeno, zunanjo, filozofsko refleksijo? Pri tem gre za razmislek, ki bistveno usmeri tudi samo razumevanje znanosti, njeno vlogo v spoznavanju sveta, njeno vlogo v družbi in nenazadnje njeno razmerje s filozofijo – bi bila ponovna krepitev vezi med fiziko in filozofijo potrebna ali pa je njuna izolacija v okviru specializacije področji 20. in 21. stoletja smiselna in neizogibna?

Na področju fizike prinaša kvantna mehanika novo izhodišče za odgovor o vlogi procesa opazovanja, s tem pa tudi o naravi znanosti in (novi) vlogi filozofije, z njeno zahtevo po drugačnem razumevanju procesa opazovanja, ki pretresa temeljne predpostavke procesa opazovanja v klasični fiziki. Pri tem se postavi vprašanje, ali kvantna fizika vnaša v proces opazovanja nove, problematične elemente (kakršen je nezmožnost »odštetja« vpliva opazovalca), ki zahtevajo dopolnitev teorije<sup>1</sup> ali pa fizikalne realnosti, ki jo podaja (bodisi s sub-quantno ravno, dodatnimi svetovi itn.)?<sup>2</sup> Ali pa zgolj radikalno podčrtava potrebo po premisleku (filozofske) refleksije procesa opazovanja, ki je v vsakodnevni uporabi znotraj klasične fizike bistveno poenostavljen? Ali ima, če parafraziram Heideggerja, proces opazovanja (kakršnega smo poznali v klasični fiziki) v kvantni fiziki vlogo strgane nogavice, katere bistvo je vidno šele, ko njena uporaba postane problematična in s tem bistvo kot ne več samou-

<sup>1</sup> Gl. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, »Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?«, *Phys. Rev.*, 47, 1935, str. 777–780.

<sup>2</sup> Gl. Bohm, D., »A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables«, *Phys. Rev.*, 85, 1952, str. 166–180; Glej H. Everett, III., *Theory of the Universal Wavefunction*, Thesis. Princeton University, Princeton, 1956.

mevno šele stopi ven iz neskritosti. Kakšna je torej razlika med procesom opazovanja v klasični in kvantni fiziki?

V iskanju odgovora na omenjena vprašanja se bomo v nadaljevanju spustili v pretres razvoja pojmovanja procesa opazovanja v klasični in kvantni fiziki, tako na podlagi zgodovinskega pregleda kot filozofskega pretresa.

## 1. Proces opazovanja v klasični fiziki

a) Pretres zgodovinskega razvoja moderne znanosti, klasične fizike in pojmovanja procesa opazovanja

Za razumevanje procesa opazovanja v klasični fiziki je bistveno razumevanje sistema, metode in ontologije moderne znanosti v splošnem, pri čemer z oznako moderna znanost razumemo specifične, bolj ali manj koherentne premike v zgodovini znanstvene misli od 17. do 20. stoletja, ki obsegajo sistematiziran način urejanja in širjenja baze znanja, ki ga danes razumemo kot splošni model znanosti. Tako tudi Thomas Kuhn v svojem najbolj znanem delu *Struktura znanstvenih revolucij* zapiše, da je ob pogledu na delo raziskovalcev s področja optike pred Newtonom povsem jasno, da so raziskovalci sami nedvomno znanstveniki, a je rezultat njihove aktivnosti kljub temu manj kot znanost.<sup>3</sup> Gre za znanstveno paradigmo oz. točneje rečeno »sistem«<sup>3</sup> bistveno povezanih/nadaljujočih se znanstvenih paradigem, ki (za razliko od sodobnejših fizikalnih teorij – od kvantne mehanike ali celo relativnostne teorije pa do teorij poenotenja) tvorijo glavno podlago laičnega razumevanja sveta in pedagoškega procesa, vsaj do specializiranih univerzitetnih stopenj – od heliocentričnega sistema do razumevanja sil. Znotraj tega sistema klasična fizika zaseda ključno mesto, tako z vidika njene vloge v okviru prvih radikalnih zgodovinskih sprememb, ki so najbolj vidne predvsem na področju fizike in astronomije, kot z vidika fizike kot podlage ostalih naravoslovnih znanosti, ki tako s svojo spremembo paradigme za sabo potegne ostale.

---

<sup>3</sup> Gl. T. S. Kuhn, *Struktura znanstvenih revolucij*, prev. Jurman, G. Založba Krtina, Ljubljana, 1998.

Sodobna zgodovina in filozofija znanosti vidita začetke moderne znanosti, glavno zasnovo in usmeritev njene ontologije, razumevanja narave in strukture znanosti v t. i. znanstveni revoluciji 17. stol. z Galilejem, Keplerjem, Newtonom in Descartesom na čelu. Vsekakor ne gre za absoluten pogled, temveč za razumevanje znanosti, kakršnega se zastopa predvsem od Koyréjeve analize srednjeveške in renesančne znanosti naprej in z njim na čelu. A v prvi vrsti gre pri takšnem razumevanju zgodovine znanosti za samo-razumevanje moderne znanosti. Potemtakem je takšno zgodovinsko umeščanje, ne glede na svojo relativnost, še kako ustrezno, ko služi opisu moderne znanosti same.

Koyré kot dve glavni značilnosti intelektualne naravnosti moderne znanosti na več mestih navaja naslednji točki:

»1) [D]estrukcija Kozmosa, zato iz znanosti izginijo vsi premisleki, utemeljeni na tem pojmu; 2) geometrizacija prostora – se pravi zamenjava kvalitativno diferenciranega in konkretnega prostora predgalilejske fizike s homogenim in abstraktnim prostorom evklidske geometrije. Ti dve značilnosti lahko povzamemo in izrazimo takole: matematizacija (geometrizacija) narave in zato matematizacija (geometrizacija) znanosti.«<sup>4</sup>

Galilej razume matematiko kot jezik narave. Tako v svojih *Poskusih (Il Saggiatore)* iz leta 1623 zapiše, da je filozofija zapisana v veličastni knjigi, ki vedno že leži pred našimi očmi – v veselju – a je ne moremo razumeti, če se poprej ne naučimo jezika in razumemo simbolov, v katerih je napisana. Ta knjiga je napisana v jeziku matematike in simboli, brez katerih je nemogoče razumeti kakršnokoli besedo te knjige, so trikotniki, krogi in druge geometrijske oblike; brez njih bi neuspešno taval po temnih labirintih, zaključí Galilej.<sup>5</sup>

Ta pristop se sprva uveljavi kot filozofsko utemeljena znanstvena metoda, kasneje pa se zaradi splošne uporabe in uspešnosti metode to metodo povsem izenači s samim predmetom obravnave. Matematiko se razume kot jezik narave, znanstvenikove koncepte pa kot resnične lastnosti pojavov. Takšna paradigma bistveno določa tudi razumevanje procesa opazovanja. Proces opazovanja, ki ga bistveno sestavljajo opa-

<sup>4</sup> A. Koyré, »Galilej in Platon«, prev. Vendramin, V., v: Koyré, A.: *Znanstvena Revolucija*, ZRC SAZU, Ljubljana, 2006. str. 107.

<sup>5</sup> Gl. G. Galilei, *Il Saggiatore*. Rome, 1623.

zovalec, opazovanje in opazovano, je poenostavljen z ne-razlikovanjem med opazovanjem in opazovanim, ki omogoča tudi (navidezno) odštetje vloge opazovalca.

Nova metoda izhaja iz razumevanja znanstvenega opisa kot objektivnega opisa tega, kako svet je, naravo se tako razume kot na sebi matematično, na tem osnovane znanstvene koncepte pa kot resnične lastnosti pojavov, resničnejše od lastnosti, ki jih »naivno« dojemamo v okviru vsakodnevnega, laičnega opazovanja. Takšno razumevanje, temelječe na nasprotovanju Aristotelu in vračanju k Platonu ter prebliskih posameznih genijev, odpre novo podlago za pospešen razvoj znanosti in možnost za njeno sistematizacijo, razumevanje in nadgrajevanje. Nova metoda prinaša tudi absolutizacijo, posploševanje in abstrahiranje naravnih pojavov, ki omogočajo razvoj moderne znanosti. Po drugi strani pa se s tem odpira možnost zamenjave metode z resničnim predmetom obravnave, ki prinaša v znanost določeno mero »naivnosti«. Opazovanja se ne razlikuje od opazovanja, ki tako izgine iz slike, kakršenkoli vpliv opazovalca pa je sedaj izključen – fizika opisuje svet, kakršen je (in ne, kakršen se nam kaže). Matematizacija narave se tako ne razume kot trenutna izjemno uspešna metoda, temveč kot (absolutni) način njenega obstoja. Galilej ni iskal zgolj »primernih orodij za ‘reševanje pojavov’«,<sup>6</sup> temveč je –

»poskušal odkriti pravo strukturo narave, brati pravo knjigo vesoljstva [...] njegova kritika Ptolemajevnega sistema je bila ravno to [spoznanje], da »aritmetika, čeprav zadovolji astronoma, ne prinese zadovoljstva ali pomiritve astronomu filozofu«. Toda, kot je rekel, Kopernik »je zelo dobro dojel, da če nekdo lahko reši nebesne pojave z napačnimi predpostavkami o naravi, se to da mnogo lažje storiti z resničnimi predpostavkami«. Torej ni bil razlog zgolj pragmatična uporaba načela ekonomije, da je treba izbrati enostavnejšo hipotezo. Narava sama je tista, ki »ne naredi z mnogimi vzroki tega, kar lahko naredi z malo [vzroki]«, narava sama je tista, ki narekuje privolitev v Kopernikov sistem.«<sup>7</sup>

Znanost se ne ukvarja več s pojavi samimi, temveč z njihovim matematičnim opisom kot točnejšim izrazom, kako stvari so. Ko Galileja

<sup>6</sup> A. C. Crombie, v: Koyré, A.: *Izvori moderne znanosti*, prev. Likar, V., v: *Znanstvena Revolucija*, ZRC SAZU, Ljubljana, 2006. str. 69.

<sup>7</sup> Crombie, *op. cit.*, str. 69.

njegov aristotelski nasprotnik povpraša: »‘Ste to preizkusili?’ Galilej ponosno odvrne: ‘Ne, in nobene potrebe ni, da bi; brez vsakega izkustva lahko zatrdim, da je tako, saj ne more biti drugače.’«<sup>8</sup> Zelo sorodna je izjava Alberta Einsteina iz leta 1919 po prvem dokazu splošne teorije relativnosti, ko so ga povprašali, kako bi se odzval, če bi eksperimentalni podatki nasprotovali njegovi teoriji: »Potem bi mi bilo žal za Gospoda. Teorija je pravilna v vsakem primeru.«<sup>9</sup> Einstein je bil velik občudovalec Galileja, kar dokazuje tudi njegov znameniti predgovor h Galilejevemu *Dialogu o dveh glavnih sistemih sveta, ptolemajskem in kopernikanskem*,<sup>10</sup> ter hkrati občudovalec in izjemen uporabnik (moderne) znanstvene metode, ki se je oblikovala v 17. stoletju. Nedvomno je to pomembno prispevalo tako njegovemu oblikovanju ene izmed temeljnih in najbolj elegantnih fizikalnih teorij kot njegovemu zavračanju novega razumevanja procesa opazovanja, ki ga zahteva kvantna mehanika in h kateremu se bomo znova vrnili v nadaljevanju.

Moderna znanost tako vpelje zarezo med življenjskim/izkustvenim svetom in svetom znanosti, pri čemer je znanstveni opis sveta razumljen kot objektivni opis tega, kako svet (resnično) je. Kot zapiše Koyré: »Pred prihodom galilejevske znanosti smo z več ali manj prilagajanja in interpretacije nedvomno sprejemali svet, ki je bil dan našim čutom, kot realni svet. Z Galilejem in po njem smo dobili razcep med svetom dostopnim čutom, in realnim svetom, svetom znanosti. Ta realni svet je utelešena geometrija, realizirana geometrija.«<sup>11</sup> Problematično pa je, da se zaradi »privajenosti« na to zamenjavo (tj., na metodo samo kot tako) vedno bolj pozablja in se hkrati s tem opušča tudi kakršnokoli utemeljevanje takšne pozicije ali utemeljevanja samega. Galilej svojo metodo, svoje razumevanje sveta še obsežno utemeljuje, za njegove sodobnike pa takšno razumevanje nikakor ni samoumevno in *Dialog o dveh glavnih sistemih sveta, ptolemajskem in kopernikanskem* je bistveno tudi »programsko« be-

<sup>8</sup> A. Koyré, »Galilej in znanstvena revolucija«, prev. Vendramin, V., v: Koyré, A.: *Znanstvena Revolucija*, ZRC SAZU, Ljubljana, 2006. str. 143.

<sup>9</sup> I. Rosenthal-Schneider, *Reality and Scientific Truth*. Wayne State University Press, Detroit, 1980. str. 74.

<sup>10</sup> A. Einstein, »Vorwort«, v: *Dialogue concerning the two chief world systems: Ptolemaic and Copernican*, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London, 1981.

<sup>11</sup> A. Koyré, »Znanstveni doprinosi renesanse«, prev. Vendramin, V., v: Koyré, A.: *Znanstvena Revolucija*, ZRC SAZU, Ljubljana, 2006. str. 83.

sedilo, ki predstavlja, razlaga in zagovarja nov pogled na naravo, novo filozofijo narave.<sup>12</sup> Newton razume silo gravitacije izključno kot »matematično« in ne kot »fizično silo«. Dejstvo, da bi bodisi materija bodisi Bog delovala na razdaljo, se mu je zdelo nemogoče, ni bilo v skladu z njegovim »zdravim razumom«, sama »elegantnost« matematičnega opisa še ni pomenila zadovoljive razlage. Tako se tudi njegovo delo ne imenuje »*Principia Philosophiae*, to je, *Načela filozofije* (kot Descartesova), temveč *Philosophiae naturalis principia mathematica*, to je MATEMATIČNA načela NARAVNE filozofije.«<sup>13</sup> Pozneje pa kakršnakoli potreba po kritičnem pretresu matematizacije narave, postopkov abstrakcije, posploševanja in absolutizacije povsem umanjka, v točki gravitacije že takoj po Newtonu:

»Newton je dejal ter še in še ponavljal, da bi bilo treba to lastnost [silo privlačnosti] šele razložiti; da tega ne zmore in da, ker noče podajati umišljenih razlag, če pač nima dobre teorije in če lahko znanost (matematična filozofije narave) povsem dobro napreduje tudi brez nje, raje ni podal nobene (to je eden od pomenov njegove znamenite izjave *Hypotheses non fingo*) in je pustil vprašanje odprto. Naj se zdi še tako čudno ali še tako naravno, mu vendar v tej točki ni nihče sledil. [... Prva generacija njegovih učencev ...] je silo privlačnosti sprejela za resnično, fizično in celo bistveno lastnost materije in njihova doktrina, ki so ji tako burno in trdovratno ugovarjali Newtonovi celinski sodobniki, je požela odobravanje Evrope.«<sup>14</sup>

Paradigma moderne znanosti tako prinaša določeno ontologijo in na njeni podlagi razumevanje narave in znanosti. Matematika kot jezik

<sup>12</sup> Kot zapiše Koyré: »Če ponovim, tako smo navajeni matematične znanosti, matematične fizike, da ne čutimo več nenavadnosti matematičnega pristopa k Biti, paradoksne drznosti Galilejeve izjave, da je knjiga Narave napisana z geometrijskimi črkami. Za nas je to samoumeven zaključek. Ne pa za Galilejeve sodobnike. Zato je pravica matematične znanosti, matematične razlage Narave, v nasprotju z razlago matematično razlago zdrave pameti in aristotelovske fizike, veliko več kot nasprotovanje med dvema astronomskima sistemoma, kar je resnični predmet *Dialoga o dveh velikih sistemih sveta*. Dejstvo je, da *Dialog*, [...] ni toliko knjiga o znanosti v našem pomenu besede kot knjiga o filozofiji [...] iz preprostega razloga, ker je rešitev astronomskega problema odvisna od vzpostavitve nove Fizike.« Vir: A. Koyré, »Galilej in Platon«, prev. Vendramin, V., v: Koyré, A.: *Znanstvena Revolucija*, ZRC SAZU, Ljubljana, 2006, str. 121.

<sup>13</sup> A. Koyré, *Od sklenjenega sveta do neskončnega univerzuma*, prev. Kante, B. *Studia Humanitatis*, ŠKUC Filozofska fakulteta, Ljubljana, 1988, str. 147.

<sup>14</sup> A. Koyré, »Pomen in vplivnost Newtonove sinteze«, prev. Vendramin, V., v: Koyré, A.: *Znanstvena Revolucija*, ZRC SAZU, Ljubljana, 2006, str. 174.

narave upoveduje, kako narava *je*, koncepti, ki jih znanstvenik za ta opis uporablja, pa razpirajo »resničnost« pojavov, njihovih lastnosti in razmerij med njimi. Takšna paradigma bistveno določa tudi razumevanje procesa opazovanja. Ta postane predmet kritike v 'kontinentalni' filozofiji 20. stoletja in med drugim predstavlja enega od razlogov za njen odmik od znanosti in obrat k umetnosti in družbenim vprašanjem.

Hkrati pa se takšno razumevanje procesa opazovanja prelomi ob opazovanju kvantnih pojavov, ki so tako prepoznani kot čudni in neintuitivni. Koyré zapiše, da »Zdrav razum je – in je vedno bil – srednjeveški in aristotelovski.«<sup>15</sup> Morda se (v smislu fraze »sovražniki mojih sovražnikov so moji prijatelji«) kvantna mehanika, ki se zdi z vidika klasične fizike kot tiste, ki zraste iz opozicije temu »zdravemu razumu«, neintuitivna in nerazumljiva, k zdravemu razumu zopet vrača. Tako fenomenološko kritiko kot omenjeni odnos med procesom opazovanja v klasični in kvantni fiziki si bomo natančneje pogledali v nadaljevanju.

#### b) Fenomenološki pogled na proces opazovanja v znanosti

Prav odnos med opazovalcem, opazovanjem in opazovanim v znanosti je glavna iztočnica Husserlove kritike sodobne znanosti v delu *Kriza evropskih znanosti in transcendentalna fenomenologija*, pri čemer je soodnos med kritiko znanosti in uvidom fenomenologije, ki ga izpostavlja že naslov, ključen.

Če si torej najprej pogledamo osnovno izhodišče fenomenologije: Husserlu fenomen predstavlja stvar, kot se daje meni, na način, da ima smisel prav zame.<sup>16</sup> Fenomen je vedno intencionalen fenomen, je fenomen o nečem, tistem, kar opazujem, zaznavam.<sup>17</sup> Jedro zaznavanega je

<sup>15</sup> A. Koyré, »Galilej in znanstvena revolucija 17. stoletja«, *ibid.*, str. 135.

<sup>16</sup> T. Hribar, »Fenomen uma«, v: Husserl, E.: *Ideje za čisto fenomenologijo in fenomenološko filozofijo*, prev. Jerman, F., Slovenska matica, Ljubljana, 1997.

<sup>17</sup> Husserl večinoma uporablja izraz zaznava (*Wahrnehmung*) in ne izraza opazovanje (*Beobachtung*), ki ga uporabljamo v pričujočem prispevku. Izraz 'opazovanje' je v terminologiji filozofije znanosti in v samih znanstvenih razlagah mnogo pogostejši, kar je glavni razlog za izbiro tega termina. Z izbiro izraza 'zaznava' Husserl poudari povezavo s psihologijo in s primarno odprtostjo zaznavajočega k svetu, saj gre v prvi vrsti za izraz, ki označuje pridobivanje informacij s pomočjo čutil, medtem ko je izraz 'opazovanje' bolj kontemplativen, pasiven. To je gotovo eden od vzrokov, da se izraz pogosteje uporablja v filozofiji znanosti in v samih znanstvenih razlagah,



zaznavano samo, a vedno v horizontu zaznavanja in glede na mojo lastno usmerjenost, pri čemer je bistveno ali gre za usmerjenost k stvari sami ali pa za nek specifičen interes, npr. občudovanje, estetsko kontemplacijo ali praktičen interes. Vedno se pogled usmeri na izbrani predmet zavesti, na stvar, in pri tem razvija zelo različne zavesti o njem. Gledano je korelat gledanja, slišano korelat poslušanja, vohano korelat vohanja itn. Če stvari dišijo ali smrdijo, to niso lastnosti stvari na sebi, temveč njihova izvorna danost zame, zaradi moje določene, telesne zainteresiranosti. Zunanji svet je zaradi narave in harmoničnosti izkustva empirično zunaj dvoma, hkrati pa je vera v zunanji svet tudi *Glaubengewissheit*, vase verujoča gotovost, saj povezuje zaznave z zaznavanim temelji na gotovosti uma, ki je podlaga vsega racionalnega delovanja v svetu. Povsem zmotno je misliti, da se zaznavanje ne približa stvari sami. Vsakemu bivajočemu pripada načelna možnost, da to, kar je, preprosto zrem in ga zaznavam.

Tudi v fiziki, trdi Husserl, je vedno zaznavana stvar sama natanko tista stvar, ki jo raziskuje in znanstveno določa fizik, a gre pri tem za določeno usmerjenost, za določene intencionalne konstrukcije, in sicer za teoretsko določitev čutno doživetih stvari. Opazovano je resnično bivajoče, a pod vodstvom aproksimacije k idealni geometrijski obliki ter po načelu »navade«— stvari imajo navado, da se v določenih okoliščinah, določeno obnašajo, svet ima »navado«, da se nadaljuje tako kot do zdaj. Transcendenca fizikalne stvari (v smislu objektivizacije) je transcendenca, ki se konstituira v zavesti.

Problem znanosti je v tem, da se na to usmerjenost pozablja, da se metodo zamenjuje za pravo bit.<sup>18</sup> Odnos med opazovalcem, opazovanim in opazovanjem je poenostavljen do te mere, da je tretji člen povsem izpuščen iz kakršnekoli refleksije in analize procesa opazovanja. Moderna znanost, na začetek katere Husserl, tako kot npr. Koyré, po-

---

saj je med modernim znanstvenikom in njegovim opazovanjem/zaznavo najpogosteje merilni inštrument, kar instinktivno napeljuje k uporabi izraza 'opazovanje'. Lahko bi rekli, da je v izbiri izraza 'opazovanje' za znanstveno zaznavanje že prisoten vpliv znanstvene orientacije. Pri tem pa je potrebno poudariti, da razmerje med zaznavanim, zaznavo in tistim, ki zaznava nedvomno enako razmerju med opazovanim, opazovanjem in opazovalcem. Nenazadnje se tudi izraz *Beobachtung* navaja kot prvi sinonim za izraz *Wahrnehmung*: (Gl. D. Götz, et. al. (uredniki), *Langenscheidts Großwörterbuch Deutsch als Fremdsprache*, Langenscheidt KG, Berlin/München, 1998.)

<sup>18</sup> Gl. E. Husserl, *Kriza evropskih znanosti in transcendentalna fenomenologija*, prev. Tonkli Komel, A., Krušič, S. in Leskovec, A., Slovenska matica, Ljubljana, 2005.

stavlja Galileja, gradi na hipotezi, da je bivajoče mogoče aproksimirati idealnim geometrijskim oblikam in sklepati na načelo »navade« ter na podlagi tega opazovane objekte in odnose med njimi izraziti v matematičnih formulah. Njegova kritika se nanaša na dejstvo, da je to predhodno sklepanje v naravoslovju pozabljeno, zavest o predhodni hipotezi, o dejstvu, da gre za aproksimacijo, je izpuščena, narava se dojema kot na sebi matematična, pot do stvari samih je zaprta. Kot poudarja Husserl, to ni kritika fizikov in njihovih nespornih dosežkov, temveč manka refleksije, ki bi pomembno prispevala ne le k razumevanju sveta in bivajočega, temveč tudi samega naravoslovja.

Tako kot v filozofiji znanosti je Husserlovo razumevanje (moderne) znanosti bistveno povezano z njenimi »začetki« v 17. stoletju – v ospredje so postavljeni novo razumevanje strukture narave in znanosti ter razumevanje procesa opazovanja. Na podlagi pregleda temeljnih značilnosti moderne znanosti skozi njen zgodovinski pregled in fenomenološko kritiko si bomo v nadaljevanju natančneje pogledali model procesa opazovanja v klasični fiziki.

### c) Klasična fizika in fenomenologija

Če na proces opazovanja v klasični fiziki pogledamo s fenomenološkega vidika, ta sicer nikakor ne negira ali problematizira njenih znanstvenih izsledkov kot takih in uporabe tovrstnega znanstvenega opazovanja kot dela znanstvene metode, problematizira pa ozkost in naivnost njene refleksije, ki bi ju pravzaprav lahko razumeli kot izostanek refleksije procesa opazovanja v znanosti sploh. Manko refleksije pa s seboj prinaša tudi napačno razumevanje metode in predmeta raziskovanja. Prav potreba po temeljiti refleksiji procesa opazovanja, podana s strani fenomenologije, pa, kot bomo videli v nadaljevanju, večplastno sovpada s sorodno zahtevo v okviru kvantne fizike.

Potemtakem bi bilo treba razumeti ne-poenostavljeni model procesa opazovanja v klasični fiziki v naslednji obliki: Sam proces opazovanja bistveno sestavljajo opazovalec, opazovanje in opazovano. Klasična fizika »na delu« omogoča poenostavitev tega odnosa z ne-razlikovanjem med opazovanjem in opazovanim, ki omogoča tudi (navidezno) odštetje vloge opazovalca. Vendar so koncepti (npr. gibalni moment, pozicija), ki jih

opazovalec uporabi za opis opazovanega in kot taki konstituira (njegovo) opazovanje, (še) vedno bistveno koncepti opazovalca in temeljijo na njegovih preteklih izkušnjah iz njegovega življenjskega sveta in na možnostih/naravi same merilne naprave. Teh konceptov tako ne moremo razumeti kot apriornih lastnosti opazovanega, ki bi bile neodvisne od opazovalčevega (načina) opazovanja, opisa in razumevanja (znova gre za izvorno danost stvari zame, zaradi moje določene zainteresiranosti). Kot zapiše francoski fizik in filozof fizike François Lurçat: »Epistemološka lekcija te ideje je še vedno relevantna: naši koncepti niso zapisani v knjigi univerzuma, mi sami jih zasujemo v poizkusu razumeti zakone naravnih in, splošneje, fizikalnih pojavov.«<sup>19</sup> Naši koncepti niso apriorne lastnosti stvari, ki jih opisujemo, a so v znanstveni komunikaciji, zaradi njihove splošne rabe in inter-subjektivnega strinjanja o njihovem enoznačnem pomenu, bodisi absolutno bodisi zgolj s praktičnega vidika v okviru vsakdanje uporabe, sprejeti kot taki.

To splošno sprejeto posploševanje pa postane problematično, ko stopimo na področje kvantne mehanike. To, kar se z vidika klasične fizike zdi kot »čudni«, neintuitivni svet kvantne mehanike, kot nesprejemljivo odpravljanje za znanost bistvenega realizma klasične fizike, bi se z vidika fenomenologije lahko pokazalo kot premislek metode kot take ter kot refleksija procesa opazovanja. Kaj torej v razumevanje procesa opazovanja prinaša kvantna mehanika?

## 2. Proces opazovanja v kvantni mehaniki

Kvantno-mehanski opis sveta odpira pogled na pojave, ki so s poenostavljenim modelom procesa opazovanja v klasični fiziki nekompatibilni in zahtevajo premislek samega procesa opazovanja.

V kvantno-mehanskem procesu opazovanja vpliva opazovalca ni mogoče odšteti, vpliv samega procesa opazovanja na opazovano je ključen, ne le z epistemološkega, temveč tudi z ontološkega vidika. Kvantni sistem pred meritvijo opisuje valovna funkcija – z vidika klasičnega opa-

<sup>19</sup> F. Lurçat, »Understanding Quantum Mechanics with Bohr and Husserl«, v: Boi, L., Kerszberg, P. & Patras, F. (uredniki): *Rediscovering Phenomenology*, Springer, Dordrecht, 2007, str. 238.

zovalca se obnaša kot val. Valovna funkcija je verjetnostna funkcija, saj podaja (le) verjetnost, da v trenutku meritve sistem najdemo v določeni konfiguraciji. Pred meritvijo tako lahko z veliko natančnostjo sklepamo na verjetnost posameznih rezultatov (in torej na »statistiko« množice meritev), ne pa na posamezen rezultat, manko informacije o določeni vrednosti pa ni, kot v klasični fiziki, posledica opazovalčevega ne-vedenja ali ignorance. Te informacije v svetu preprosto ni. Zato govorimo o t. i. objektivnem naključju, ki nasprotuje klasični predstavi o determinizmu fizikalnega sveta.

V trenutku meritve pride do t. i. »kolapsa valovne funkcije«, saj sistem sedaj opisuje izmerjena lastnost in ne več valovna funkcija – pri tem je ključna vloga opazovalca oz. njegovega akta opazovanja/meritve, saj ta povzroči »kolaps« in izloči določeno/izmerjeno lastnost kot tisto, ki pripada delcu. Hkrati je za razumevanje procesa opazovanja bistven koncept t. i. komplementarnosti. Posamezne »lastnosti« opazovanega kvantnega sistema so komplementarne (npr. lega in gibalna količina), kar pomeni, da pridobitev natančnega vedenja o obeh ni mogoča – z meritvijo ene se kvantni sistem v kontekstu meritve spremeni, meritve druge ne moremo samoumevno »prišteti« k prvi bazi znanja.

Obe izpostavljeni lastnosti kvantnih sistemov sta bistveno povezani s kvantno prepletenostjo, ki je morda z vidika klasične fizike sicer najbolj presenetljivi, za kvantno mehanski opis pa najbolj temeljni in značilni fenomen.<sup>20</sup> Kvantno prepletenost so z namenom izpodbitja na novo oblikujočih se principov kvantne mehanike prvič izpostavili Einstein, Podolsky in Rosen v prispevku *Ali se kvantno-mehanski opis fizikalne realnosti lahko razume kot popoln?*<sup>21</sup> Kvantna prepletenost opisuje razmerje med sistemoma, ki po interakciji predstavljata enoten sistem, medtem ko sta posamezno opisljiva le še kot pod-sistema. Oba pod-sistema sta sedaj povsem določena eden glede na drugega in ker sta pod-sistema prepletena glede na določeno lastnost, npr. glede na spin, to pomeni, da je njuno razmerje določeno glede na to lastnost. Tako lahko na podlagi

<sup>20</sup> Gl. E. Schrödinger, »Discussion of Probability Relation Between Separated Systems«, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 31, 555–563, 1935.; B. Dakić & Č. Brukner, »Quantum Theory and Beyond: Is Entanglement Special?« arXiv:0911.0695v1, 2009.

<sup>21</sup> Gl. A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, »Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?«, *Phys. Rev.*, 47, 777, 1935, str. 777–780.

meritve določene lastnosti pri prvem natančno sklepamo na ustrezno lastnost pri drugem, čeprav pred meritvijo teh lastnosti nista imela (znana je bila le verjetnost, da se izmeri določeno lastnost) in čeprav se nahajata na zelo oddaljenih mestih (tako da samo potovanje informacije zaradi zakonov, ki jih opisuje posebna relativnostna teorija, ni mogoče).<sup>22</sup>

V primeru meritve pride do prepleta med merjenim kvantnim sistemom in merilno napravo (ter s tem do prepleta s klasičnim okoljem) in do t. i. dekoherence. Slednja opisuje »spremembo« kvantnega sistema v trenutku meritve in pomaga pojasniti, zakaj je mogoče kvantni sistem v trenutku meritve opisati s klasičnimi koncepti. »Dekoherenco lahko definiramo kot praktično ireverzibilno de-lokalizacijo (v Hilbertovem prostoru) superpozicije, zaradi vseprisotnega prepleta z okoljem.«<sup>23</sup>

Z vidika klasične fizike so proces opazovanja v kvantni fiziki, njegovi elementi in posledice, še kako problematični – objektivnega naključja, vpliva opazovalca oz. akta opazovanja, komplementarnosti itn. ni mogoče odšteti/zanemariti, saj predstavljajo temeljne lastnosti kvantnega sveta. S tem pa se zamaje tudi klasični koncept realnosti, ki je temeljil prav na ne-razlikovanju med opazovanjem in opazovanim, ki sedaj ni več mogoče (kontekst meritve vedno že določa naše vedenje o opazovanem). Prav manko klasičnega koncepta realnosti je tudi tisti, zaradi katerega je Einstein kvantno mehaniko razumel kot nepopolno in deloval kot njen glavni kritik. Tako Einstein v že omenjenem kritičnem prispevku s soavtorjema Podolskyjem in Rosenom predstavi kot zadovoljivo definicijo realnosti naslednji zapis: »V celoviti teoriji za vsak element v realnosti obstaja korespondenčen element. Zadosten pogoj za realnost fizikalne kvantitete je možnost, da jo natančno predvidimo.«<sup>24</sup> Članek pa avtorji zaključijo z opazko:

---

<sup>22</sup> Einstein je takšno razumevanje fizikalnih procesov označil kot »*spukhafte Fernwirkung*« (strašljivo delovanje na daljavo), kvantno mehaniko pa posledično kot nepopolno. Gl.: A. Einstein, »Letter from Einstein to Max Born, 3 March 1947«, v: Born, M.: *The Born-Einstein Letters; Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955*, Walker, New York, 1971.

<sup>23</sup> M. Schlosshauer, K. Camilleri: »The quantum-to-classical transition: Bohr's doctrine of classical concepts, emergent classicality, and decoherence«, *Studies of History and Philosophy of Modern Physics*, 2008.

<sup>24</sup> A. Einstein, B. Podolsky, N. Rosen, »Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?«, *Phys. Rev.*, 47, 777, 1935, str. 777.

»Res je, da se do naših zaključkov ne pride, če se vztraja, da imamo lahko dve ali več fizikalnih kvantitet za sočasne elemente realnosti samo, če so sočasno izmerjene ali napovedane. S tega stališča kvantiteti P in Q nista sočasno realni, ker lahko napovemo le eno ali drugo in ne obeh sočasno. Zaradi tega je realnost P in Q odvisna od procesa meritve, izvedene na prvem sistemu, ki na noben način ne vpliva na drugi sistem. Za nobeno razumno definicijo realnosti ne moremo pričakovati, da bi lahko dopustila kaj takega.«<sup>25</sup>

Kvantna mehanika z zahtevo po pretresu modela procesa opazovanja prinaša tudi zahtevo po pretresu konceptov bistveno vezanih na ontologijo moderne znanosti, njenega razumevanja strukture narave in sveta, na čelu s konceptom realnosti, kakršnega poznamo iz klasične fizike.

Zato ni čudno, da je Richard Feynman, eden najpomembnejših ameriških fizikov 20. stoletja, ki je bistveno prispeval k razvoju kvantne mehanike, zatrdil, da zagotovo ni nikogar, ki bi razumel kvantno mehaniko.<sup>26</sup> Po mnenju Rogerja Penrosa, matematičnega fizika in enega najpomembnejših še živečih angleških intelektualcev, kvantna mehanika deluje kot nesmiselna [»makes absolutely no sense«].<sup>27</sup> René Thom, francoski matematik in filozof, med drugim nagraden s Fieldsovo medaljo, pa jo je opisal kot intelektualni škandal stoletja.<sup>28</sup> Razumevanje kvantne mehanike kot nerazumljive, «nesmiselne» ali škandalozne pa nedvomno določa tudi izhajanje iz klasičnega razumevanje procesa opazovanja, ki se ga po desetletjih uspešne uporabe kot temelj učnega in raziskovalnega procesa, apriorno razume kot pravilnega in nujnega za znanstveno razumevanje.

Vendar, ali zagata kvantne mehanike pomeni, da so v proces opazovanja vneseni novi, problematični, neintuitivni in nesmiselni elementi, ali, da kvantna mehanika upošteva že poprej zahtevano filozofsko/fenomenološko refleksijo in odpravlja klasične poenostavitve, ki šele sedaj kot take stopajo iz neskritosti?

---

<sup>25</sup> *Ibid.*, str. 780.

<sup>26</sup> R.P. Feynmann, *The Character of Physical Law*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1965, str. 129.

<sup>27</sup> R. Penrose & C.J. Isham (urednika), *Quantum Concepts in Space and Time*. Clarendon Press, Oxford, 1986, str. 139.

<sup>28</sup> R. Thom, *Prédire n'est pas Expliquer*. Flammarion, Paris, 1993, str. 86.

a) Fenomenološki pogled na proces opazovanja v kvantni mehaniki

Če kvantna mehanika v proces opazovanja ne vnaša problematičnih, nesmiselnih elementov, temveč zgolj opušča poenostavitve klasičnega razumevanja procesa opazovanja, kaj potemtakem torej prinaša refleksija procesa opazovanja, kakršno zahteva fenomenologija, v okviru kvantne mehanike.

Husserlova kritika znanosti v *Krizi* sicer eksplicitno zajema tudi »novo atomsko fiziko«, kot tisto, ki še vedno bistveno izhaja iz matematizacije narave. Po eni strani se kvantna mehanika sooča z množico različnih interpretativnih pristopov, večji del katerih razume ne-razlikovanje med opazovanjem in opazovanim kot nujni sestavni del fizike in jo poizkuša ohraniti bodisi s praktično postavitvijo (zgolj) matematičnega opisa kot zadostnega<sup>29</sup> bodisi z uvedbo množice novih elementov, ki namesto radikalnega premisleka o odnosu med opazovanim in opazovanjem radikalno posegajo v samo-razumevanje opazovalca.<sup>30</sup> A hkrati, kot bomo videli, ena od ena od najpomembnejših interpretacij kvantne mehanike izhaja prav iz potrebe po temeljitem razmisleku procesa opazovanja.<sup>31</sup>

Husserl takšne, njegovi filozofiji bolj ali manj sočasne, premike na področju kvantne mehanike ob svojem kritičnem zasuku k preteklosti povsem spregleda, a manko takšnega Husserlovega uvida ni težko razumljiv. Kot se je na seminarju v Le Thoru izrazil Heidegger: »Šele ko ugledamo meje, ugledamo velikega misleca. Če vidite moje meje, ste me razumeli. Jaz jih ne morem videti.«<sup>32</sup> Kljub Husserlovi kritiki sta si fenomenološki in kvantno-mehanski pretres procesa opazovanja, kakršnega bomo predstavili v nadaljevanju, še kako blizu.

Poenostavitev procesa opazovanja v klasični fiziki, ki bi jo lahko označili tudi kot legitimno pozabo, postane v kvantni mehaniki izrazito pro-

<sup>29</sup> A. Pais, *Niels Bohr's Times*. Clarendon Press, Oxford 1991, gl. str. 309–310.

<sup>30</sup> H. Everett, III., *Theory of the Universal Wavefunction*, Thesis. Princeton University, Princeton, 1956, gl. str. 118–119.

<sup>31</sup> Gl. N. Bohr, *The Philosophical Writings of Niels Bohr, Volume I, II, III & IV*. Ox Bow Press, Woodbridge, Connecticut, 1987–1998.

<sup>32</sup> Neumann, Günther, *Die phänomenologische Frage nach dem Ursprung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Raumauffassung bei Husserl und Heidegger*, Duncker und Humblot, Berlin, 1999, str. 47.

blematična. Kvantni sistem pred meritvijo »se obnaša« povsem drugače kot kvantni sistem ob meritvi, ko je prepleten z merilno napravo in s tem z našim klasičnim okoljem/sistemom. Pred in po meritvi govorimo o koherentnem kvantnem sistemu, ki ni del našega klasičnega sistema. A potemtakem temeljita refleksija odnosa med opazovalcem, opazovanim in opazovanjem ne more biti potisnjena ob stran. Naši klasični koncepti ne morejo biti, niti v okviru poenostavljene slike za praktične namene, razumljeni kot lastnosti opazovanega koherentnega kvantnega sistema, saj ta ni del klasičnega sistema na razumevanju katerega so uporabljeni koncepti osnovani. Kot klasična bitja lahko uporabljamo in razumemo samo koncepte, ki izhajajo iz našega življenjskega sveta, ta pa je nujno in apriorno klasičen. Z njimi lahko opišemo/razumemo opazovanje opazovanega, torej opazovano, kakršno se nam daje v kontekstu opazovanja/meritve in glede na ta kontekst, ne pa tudi opazovanega kot takega, neodvisno od tega koncepta. Tako vsaka kvantna meritev predstavlja nov, specifičen kontekst, novo kvantno prepletenost med kvantnim sistemom in merilno napravo – novo spraševanje po novem odgovoru, kar pojasnjuje tudi pojav kvantne komplementarnosti.

Takšna refleksija omogoči tudi lažje razumevanje valovne funkcije kot verjetnostne funkcije: opis kvantnega sistema je lahko točen, razumljiv in smiselno, če je podan kot opis glede na naš klasični sistem, na katerega se naša sredstva opisovanja tudi opirajo. V tem primeru je valovna funkcija torej opis kvantnega sistema glede na potencialne meritve – glede na potencialne preplete s klasično merilno napravo. Valovna funkcija je opis potencialnih rezultatov potencialne meritve. Posledično ne moremo govoriti o realnem kolapsu valovne funkcije, saj gre za opis, ki je bistveno – ontično (še le v primeru meritve je kvantni sistem del našega klasičnega sistema, prepleten je z merilno napravo kot delom klasičnega sistema, kar bistveno določa njegov način biti) in epistemsko (bistveno je to moj opis, odvisen od mojih konceptov, sistema zaznavanja, okolja itn. ter hkrati opis opazovanega sistema, odvisen od njegovega načina biti) pogojen z razmerjem med našim in opazovanim sistemom. Ob meritvi, zaradi kvantnega prepleta med opazovanim kvantnim sistemom in merilno napravo pride do ontične spremembe opazovanega, hkrati pa pride do bistvene epistemske spremembe – kvantni sistem je sedaj prepleten z našim klasičnim sistemom – pridobimo informacijo o



njegovem stanju in lahko ga opišemo s klasičnimi koncepti. O kolapsu valovne funkcije tako lahko govorimo le metaforično.

Kvantna mehanika postavlja v ospredje zahtevo po razmisleku odnosa med opazovalcem, opazovanim in opazovanjem. Ta zahteva ni nova, saj se že pred tem pojavlja na področju filozofije, a se kot nova in posledično »čudna« pojavlja na področju fizike, kjer so poenostavitve, ki jih vsakodnevno uporablja klasična fizika, razumejo kot nujen sestavni del fizikalnega opisa in procesa delovanja. Zaradi narave kvantnih fenomenov, ki onemogoča poenostavljanje strukture opazovalnega procesa, se zahteva po refleksiji procesa opazovanja in njegovi natančni razčlenitvi sedaj iz zunanje filozofske pozicije prenaša v samo fizikalno prakso, a tu najpogosteje, zaradi ločitve med fiziko in (»kontinentalno«) filozofijo,<sup>33</sup> katerih premisleki največkrat potekajo vzporedno, ne pa tudi prepleteno, najpogosteje ostaja dojeta kot problematična.

#### b) Niels Bohr in ključ do razumevanja kvantne mehanike

Refleksija procesa opazovanja v kvantni mehaniki predstavlja tudi podlago interpretacije kvantne mehanike Nielsa Bohra, vodilne osebe v procesu zasnavljanja kvantne mehanike. Njegov pogled bistveno konstituira tudi t. i. kopenhagensko interpretacijo, ki predstavlja glavno izhodišče »učbeniškega« opisa kvantne mehanike in (tako v času oblikovanja kot danes) hkrati med fiziki najbolj razširjeno, čeprav nikakor ne edino interpretacijo. Pri tem je pomembno poudariti, da je kopenhagenska interpretacija zelo kompleksna in poleg Bohrovega pogleda združuje tudi v principu sorodne, a v nekaterih pogledih diametralno nasprotno poglede, kakršna sta »praktični« Heisenbergov pristop, ki bistveno bolj sledi Galilejevemu razumevanju narave kot matematične same na sebi,<sup>34</sup> in von Neumannovo razumevanje, ki poudarja vlogo kolapsa valovne funkcije.

»To, kar se v splošnem razume kot kopenhagenska interpretacija kvantne mehanike [...], se bistveno razlikuje od Bohrove interpretacije, ki izhaja iz komplementarnosti, ne vključuje kolapsa valovnega paketa kot posledico meritve in subjektivnemu opazovalcu ne namenja nobene privilegirane vloge v proce-

<sup>33</sup> Gl. T. Bilban, »Sodobne filozofske teorije časa«, *Phainomena*, 16, 64–65, str. 215–235.

<sup>34</sup> A. Pais, *Niels Bohr's Times*. Clarendon Press, Oxford 1991, gl. str. 309–310.

su meritve. [...] Kopenhagenska interpretacija je izum s sredine petdesetih let prejšnjega stoletja, za katerega je v največji meri odgovoren Heisenberg, nadalje pa so ga promovirali nekateri drugi fiziki in filozofi, med njimi Bohm, Feynman, Hanson, in Popper, v podporo svojih lastnih filozofskih programov.«<sup>35</sup>

Hkrati pa se večina fizikov ob izhajanju iz kopenhagenske interpretacije naslanja predvsem na njene glavne predpostavke<sup>36</sup> in se redkeje spušča v kompleksnejše, bistveno filozofsko Bohrovo razumevanje. Niels Bohr je namreč razumel razliko med kvantnim in klasičnim prav kot razliko v procesu opazovanja, kot razliko v odnosu med opazovalcem, opazovanim in opazovanjem. Najpomembnejša lastnost, ki kvantno razlikuje od klasičnega, je po Bohrovem mnenju:

»[N]ezmožnost ostre ločitve med obnašanjem atomskega objekta in interakcijo z merilno napravo, ki služi za definiranje pogojev, pod katerimi se fenomen pojavi. Pravzaprav se individualnost tipičnih kvantnih učinkov ustrezno izrazi v okoliščini, da vsak poizkus razčlenitve fenomena zahteva spremembo v postavitvi eksperimenta, ki uvede nove možnosti za interakcijo med objekti in merilnimi napravami, ki jih načeloma ne moremo nadzirati.«<sup>37</sup>

Pojav, ki zahteva drugačen pristop h kvantno-mehanskim pojavom, je nezmožnost ločevanja med opazovanim kvantnim sistemom in merilno napravo, s katero je prepleten v trenutku meritve. Tako v kvantni mehaniki odšteteje vpliva opazovalca ni več mogoče.

Vendar, poudarja Bohr, kvantnega eksperimenta ni mogoče nedvoumno in razumljivo opisati drugače kot s klasičnimi koncepti, ki so podlaga kakršnekoli (uspešne) komunikacije rezultatov. Način opisa fenomenov v kvantni mehaniki je odvisen prav od neobhodne uporabe klasičnih konceptov pri interpretaciji vseh ustreznih meritev, čeprav klasične teorije ne zadoščajo za razlago novih tipov regularnosti, s katerimi se ukvarjamo v atomski fiziki.<sup>38</sup>

<sup>35</sup> D. Howard, »Who invented the Copenhagen interpretation? A study in mythology«, *Philosophie of Science*, 71, 669, 2004.

<sup>36</sup> G. Jaeger, *Entanglement, Information, and the Interpretation of Quantum Mechanics*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009, gl. str. 130.

<sup>37</sup> N. Bohr, »Discussions with Einstein on epistemological problems in atomic physics«, v: Schilpp, P. (urednik): *Albert Einstein: Philosopher-Scientist. Library of Living Philosophers*, Evanston, Illinois, 1949, str. 201.

<sup>38</sup> Gl. N. Bohr, »Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?«, *Physical Review*, 48, 1935.

Prav ta nujnost uporabe klasičnih konceptov in hkrati specifika kvantnih pojavov kot ne-klasičnih in kot tistih, ki jih je nemogoče ostro ločiti od klasičnih merilnih naprav, ki določajo pogoje njihovega pojavljanja, zahtevata torej temeljit premislek procesa opazovanja in razmerja med opazovalcem, opazovanim in opazovanjem ter bistveno upoštevanje konteksta opazovanja in vloge procesa opazovanja pri opisu opazovanega. Kot zapiše François Lurçat, vprašanja, kot je »kakšna je vrednost komponente gibalne količine«, ne presegajo Galilejevega razumevanja narave kot matematične same na sebi. To idejo prevzame Heisenberg, le da nove koncepte nadomesti s starimi. »Bohrov pristop pa je bolj temeljen: pomen vsakega vprašanja mora biti pojasnjen z definiranjem eksperimentalne naprave, ki omogoča, da postavimo to konkretno vprašanje. Takšen je pomen ideje, ki se z vidika klasične tradicije zdi čuden in celo nerazumljiv – recipročne ne-avtonomnosti atomskih procesov in eksperimentalnih naprav.«<sup>39</sup>

Bohrovo razumevanje kvantne mehanike, razumevanje, ki poveže epistemski in ontični pristop, ki omogoči nedvoumno z razumevanjem življenjskega sveta povezano razumevanje, brez pristanka na zgolj praktični matematični opis ali na uvedbo množice novih, nedokazanih ali nedokazljivih elementov, ki bi zagotovili ohranitev poenostavljene, domače klasične slike, je temeljno povezano s fenomenološkim premislekom procesa opazovanja.

Klasični koncepti, ki so za nas kot klasične opazovalce edini koncepti, ki jih (lahko) imamo, so nujni za opis kvantnega opazovanega, a pri tem je bistveno zavedanje, da gre za opis opazovanega v specifičnem kontekstu in glede na ta kontekst, da ne gre zgolj za beleženje apriorno prisotnih, neodvisnih lastnosti opazovanega. Polarizacija fotona *per se* je nesmiselna, vedno govorimo o polarizaciji opazovanega fotona v določeni smeri,<sup>40</sup> o polarizaciji glede na kontekst meritve, o polarizaciji kot klasičnem konceptu, s katerim lahko opišemo pojav, kakršnega zaznamo v kontekstu meritve, s katerim lahko opišemo opazovano, zavedajoč se,

<sup>39</sup> F. Lurçat, »Understanding Quantum Mechanics with Bohr and Husserl«, v: Boi, L., Kerszberg, P. & Patras, F.: *Rediscovering Phenomenology*, Springer, Dordrecht, 2007, str. 246.

<sup>40</sup> Gl. A. Peres, *Quantum Theory: Concepts and Methods*. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, 1999.; Č. Brukner, »In the 'Kreischgang' between classical and quantum physics«, *UniMolti modi della filosofia*, 2, 2008.

da gre za opis opazovanega, kakršno se nam daje v danem kontekstu glede na izbor, postavitev itn. merilne naprave, s katero ga »sprašujemo«. <sup>41</sup> A hkrati proces merjenja/opazovanja vseskozi predstavlja »spraševanje« narave, spraševanje, ki ga omogoča šele sam proces opazovanja, z odgovori, ki so nam (kot klasičnim opazovalcem) bistveno dostopni/razumljivi zgolj v formi klasičnih konceptov. Pa vendar gre za odgovore narave (fizikalnih fenomenov) in ne zgolj za igro jezika, ki se poigrava s tem, kaj lahko rečemo, kot radi poudarjajo nasprotniki Bohrovega pogleda, ki vključuje tudi epistemski premislek, <sup>42</sup> ali zgolj za sistem naših misli/prepričanj, nepovezanih z zunanjim svetom, kot pogosto poudarjajo zagovorniki izključno epistemske metode, ki povsem izpuščajo ontični vidik. <sup>43</sup> Bohrovo razumevanje kvantne mehanike je bistveno epistemsko (kaj lahko rečemo/vemo) in ontično (o tem, kar je, o Naravi).

François Lurçat je v zaključku svojega prispevka »Razumeti kvantno mehaniko z Bohrom in Husserlom« zapisal: »Klasični fizik ni razumel narave svoje znanosti; kvantni fizik ne razume svoje znanosti same in, kot smo videli, se tega manka razumevanja pogosto zaveda. Zaklenjen v galilejevskem zaporu, ne vidi ključa, ki mu ga ponuja fenomenologija, ključa, ki ga je Bohr, v določeni meri, ponovno odkril sam.« <sup>44</sup>

V središču razumevanja kvantne fizike je prav natančen pretres procesa opazovanja. A ta ne odpravlja le ne-intuitivnosti kvantne fizike, temveč hkrati na novo osvetljuje naravo in strukturo znanosti, njeno utemeljevanje v specifičnem znanstvenem procesu opazovanja in pomen njene vezi s filozofijo.

---

<sup>41</sup> Pri tem je potrebno upoštevati, da je vsak izraz, ki ga pri tem uporabimo za označitev opazovanega – npr. foton, vedno že izraz opazovalca, s katerim opiše opazovano, kot se mu daje v določenem kontekstu, torej glede na specifično opazovanje, glede na specifične odgovore, ki jih opazovano podaja opazovanemu in da tudi tokrat ne gre za opazovano samo na sebi, neodvisno od opazovalca in konteksta.

<sup>42</sup> Gl. C. G. Timpson, »Information, Immaterialism, Instrumentalism: Old and New in Quantum Information«, v: Bokulich, A. & Jaeger, G. (urednika): *Philosophy of Quantum Information and Entanglement*, Cambridge University Press, Cambridge, 2010.

<sup>43</sup> Gl. C. A. Fuchs & A. Peres »Quantum Theory–Interpretation, Formulation, Inspiration: Fuchs and Peres Reply,« *Physics Today*, 53(9), 14, 90, 2000.

<sup>44</sup> F. Lurçat, »Understanding Quantum Mechanics with Bohr and Husserl«, v: Boi, L., Kerszberg, P. & Patras, F.: *Rediscovering Phenomenology*, Springer, Dordrecht, 2007, str. 257.

## Zaključek

Proces opazovanja predstavlja enega ključnih elementov znanstvenega pristopa k predmetu obravnave, razumevanje procesa opazovanja pogojuje in predhaja samo razumevanje znanosti, njenega pristopa in metode, hkrati pa eksaktnost procesa opazovanja pogojuje tudi samo eksaktnost znanstvenega pristopa. Na področju fizike narava in struktura procesa opazovanja stopata iz neskritosti predvsem kot posledica razvoja kvantne mehanike, ki na novo prevprašuje razmerje med opazovalcem, opazovanjem in opazovanim. Razmerje, ki je bilo poprej v klasični fiziki potisnjeno na stran oziroma avtomatično podvzeto kot razumljeno, je sedaj ponovno premišljeno, razumljeno drugače in v novih okvirih, posledično pa se aktualizira tudi samo vprašanje o naravi in strukturi znanosti in o njenem razmerju s filozofijo.

Zgodovinski in filozofski pretres razvoja razumevanja procesa opazovanja od novoveške znanosti dalje pokaže, da moderna znanost vzpostavi razumevanje znanstvenega opisa kot objektivnega opisa tega, kako svet je. Ta pristop se sprva uveljavi kot filozofsko utemeljena znanstvena metoda, kasneje pa se, zaradi splošne uporabe in uspešnosti metode, to metodo povsem izenači s samim predmetom obravnave. Matematiko se razume kot jezik narave, znanstvenikove koncepte pa kot resnične lastnosti pojavov. Takšna paradigma bistveno določa tudi razumevanje procesa opazovanja. Proces opazovanja, ki ga bistveno sestavljajo opazovalec, opazovanje in opazovano je poenostavljen z ne-razlikovanjem med opazovanjem in opazovanim, ki omogoča tudi (navidezno) odštetje vloge opazovalca.

Poenostavljeni model procesa opazovanja, ki se v okviru zamenjave metode in predmeta obravnave v moderni znanosti razume kot celovit model procesa opazovanja, pa postane problematičen v okviru kvantne mehanike. Ta odpre pogled na pojave, ki so s takšnim modelom ne-kompatibilni in zahtevajo ponoven premislek narave in strukture procesa opazovanja. Z vidika klasične fizike neintuitivni kvantni pojavi so razumljivi in smiselni, če jih interpretiramo na podlagi natančno strukturiranega procesa opazovanja. Takšno strukturo procesa opazovanja med drugim zahteva tudi Husserlova fenomenološka kritika moderne znanosti. Ker se kvantni sistem pred meritvijo »obnaša« povsem drugače

kot kvantni sistem v kontekstu meritve, ko je prepleten z našim klasičnim sistemom, naši klasični koncepti ne morejo biti, niti v okviru praktične poenostavitve, razumljeni kot lastnosti kvantnega sistema pred in po meritvi, saj ta ni del klasičnega sistema, na razumevanju katerega so uporabljeni koncepti osnovani. Klasični koncepti so za opis opazovanega nujni, a jih je potrebno razumeti kot opis opazovanega v specifičnem kontekstu in glede na ta kontekst, kar v svojem filozofsko-fizikalnem razumevanju kvantne mehanike poudarja že Niels Bohr, njegovo razumevanje pa kljub uspešnosti in konsistentnosti naleti na odpor dela fizikalne skupnosti prav zaradi privajenosti na do tedaj izjemno uspešni klasični model procesa opazovanja.

Ponovni premislek procesa opazovanja, ki ga zahteva kvantna mehanika, omogoči razumevanje z vidika klasične fizike »čudnih« in ne-intuitivnih pojavov, kakršni so kvantna komplementarnost, kolaps valovne funkcije in njen »verjetnostni značaj«. Hkrati pa prav potreba po tem ponovnem premisleku izpostavi manko refleksije procesa opazovanja v klasični fiziki, ki predstavlja tudi enega od vzrokov za razhod med filozofijo in fiziko v 20. stoletju. Novo znanje, ki ga prenaša kvantna mehanika in njeno izpostavljanje pomena pretresa narave in strukture procesa opazovanja tako odpira pomemben prostor za kompleksno in produktivno povezavo fizike in filozofije. Fizika se lahko naivnosti, poenostavljanju in polovičnemu razumevanju lastnega predmeta in procesa opazovanja izogne le ob temeljitem premisleku in zavedanju svoje metode in njenih predpostavk, pri čemer gre za premislek, ki je bistveno filozofski, tako po svoji naravi, kot prisotnosti v različnih filozofskih sistemih. Hkrati pa lahko filozofija svoj premislek temeljnih ontoloških in epistemoloških vprašanj utemelji, aktualizira in družbeno umesti samo s poznavanjem sodobne znanosti ter z uporabo njenega novega znanja in upoštevanjem epistemoloških problemov, s katerimi se sooča in med katerimi je nedvomno pomemben tudi premislek vloge, narave in strukture procesa opazovanja.

*Zahvala:* V članku zajeto delo je bilo podprto s strani Templetonove fundacije (John Templeton Foundation grant).

*Acknowledgement:* This work was supported by a grant from the John Templeton Foundation.

## L i t e r a t u r a

1. Bilban, T. (2010), »Sodobne filozofske teorije časa«, *Phainomena*, 16, 64–65, 215–235.
2. Bohm, D. (1952), »A suggested interpretation of the quantum theory in terms of 'hidden' variables«, *Phys. Rev.*, 85.
3. Bohr, N. (1987–1998) *The Philosophical Writings of Niels Bohr, Volume I, II, III & IV*. Woodbridge/Connecticut, Ox Bow Press.
4. Bohr, N. (1935), »Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?«, *Physical Review*, 48.
5. Bohr, N. (1949), »Discussions with Einstein on epistemological problems in atomic physics«, v: Schilpp, P. (urednik): *Albert Einstein: Philosopher–Scientist. Library of Living Philosophers*, Illinois, Evanston.
6. Dakić, B. & Brukner, Č. (2009), »Quantum Theory and Beyond: Is Entanglement Special?« arXiv:0911.0695v1.
7. Brukner, Č. (2008), »In the 'Kreisgang' between classical and quantum physics«, *UniMolti modi della filosofia*, 2.
8. Einstein, A. (1981), »Vorwort«, v: *Dialogue concerning the two chief world systems: Ptolemaic and Copernican*, Berkeley/Los Angeles/London, University of California Press.
9. Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N. (1935), »Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?«, *Phys. Rev.*, 47, 777, 777–780.
10. Einstein, A. (1971), »Letter from Einstein to Max Born, 3 March 1947«, v: Born, M. (1971): *The Born-Einstein Letters; Correspondence between Albert Einstein and Max and Hedwig Born from 1916 to 1955*, New York, Walker.
11. Everett, III., H. (1956), *Theory of the Universal Wavefunction*, Thesis. Princeton, Princeton University.
12. Feynmann, R.P. (1965), *The Character of Physical law*. Cambridge, Massachusetts, MIT Press.
13. Fuchs, C. A. & Peres, A. (2000) »Quantum Theory–Interpretation, Formulation, Inspiration: Fuchs and Peres Reply,« *Physics Today*, 53(9), 14, 90.
14. Galilei, G. (1623), *Il Saggiatore*. Rome.
15. Götz, D. et. al. (uredniki) (1998), *Langenscheidts Größwörterbuch Deutsch als Fremdsprache*. Berlin/München, Langenscheidt KG.
16. Howard, D. (2004), »Who invented the Copenhagen interpretation? A study in mythology«, *Philosophie of Science*, 71, 669.
17. Hribar, T. (1997), »Fenomen uma«, v: Husserl, E.: *Ideje za čisto fenomenologijo in fenomenološko filozofijo*, prev. Jerman, F. Ljubljana, Slovenska matica.

18. Husserl, E. (2005) *Kriza evropskih znanosti in transcendentalna fenomenologija*, prev. Tonkli Komel, A., Krušič, S. in Leskovec, A.. Ljubljana, Slovenska matica.
19. Jaeger, G. (2009), *Entanglement, Information, and the Interpretation of Quantum Mechanics*. Berlin/ Heidelberg, Springer-Verlag.
20. Koyré, A. (1998), *Od sklenjenega sveta do neskončnega univerzuma*, prev. Božidar Kante. Ljubljana, Studia Humanitatis, ŠKUC Filozofska fakulteta.
21. Koyré, A. (2006), *Znanstvena revolucija*. Ljubljana, ZRC SAZU.
22. Kuhn, T. S. (1988), *Struktura znastvenih revolucij*, prev. Jurman, G. Ljubljana, Založba Krtina.
23. Lurçat, F. (2007), »Understanding Quantum Mechanics with Bohr and Husserl«, v: Boi, L., Kerszberg, P. & Patras, F. (uredniki): *Rediscovering Phenomenology*, Dordrecht, Springer.
24. Neumann, G. (1999), *Die phänomenologische Frage nach dem Ursprung der mathematischnaturwissenschaftlichen Raumauffassung bei Husserl und Heidegger*, Berlin, Duncker und Humblot.
25. Pais, A. (1991), *Niels Bohr's Times*. Oxford, Clarendon Press.
26. Penrose, R. & Isham, C. J. (urednika) (1986), *Quantum Concepts in Space and Time*. Oxford, Clarendon Press.
27. Peres, A. (1999), *Quantum Theory: Concepts and Methods*. Dordrecht, Kluwer academic Publishers.
28. Rosenthal-Schneider, I. (1980), *Reality and Scientific Truth*. Detroit, Wayne State University Press.
29. Schlosshauer, M., Camilleri, K.. (2008), »The quantum-to-classical transition: Bohr's doctrine of classical concepts, emergent classicality, and decoherence«, *Studies of History and Philosophy of Modern Physics*.
30. Schrödinger, E. (1935), »Discussion of Probability Relation Between Separated Systems«, *Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 31, 555–563.
31. Thom, R. (1993), *Prédire n'est pas Expliquer*. Paris, Flammarion.
32. Timpson, C. G. (2010), »Information, Immaterialism, Instrumentalism: Old and New in Quantum Information«, v: Bokulich, A. & Jaeger, G. (urednika): *Philosophy of Quantum Information and Entanglement*, Cambridge, Cambridge University Press.