

FILOZÓFIAI MOTIVÁCIÓK SZEREPE A KVANTUMMECHANIKA MEGSZÜLETÉSÉBEN

SZEGEDI PÉTER

Eötvös Loránd Tudományegyetem

e-mail: pszegedi@caesar.elte.hu

Ajánlás

Az alábbi cikket Fehér Márta professzor emlékének ajánlom. Írásom tágabb értelemben vett témája – a természettudományok filozófiai háttere – hasonlít ahhoz, amivel tudományos munkásságát ő is kezdte (első cikke: A "legkisebb hatás teológiája". Maupertuis elv: egy istenérv a felvilágosodás korából). Míg én nagyrészt beleragadtam ebbe a témába, Márta – sokunk hasznára – néhány év után váltott, és tudományfilozófiával (is) kezdett foglalkozni, amit aztán mi tőle tanulhattunk meg. Volt egy akkoriban igen divatos nagyalakú spirálfüzetem az előadásaiból és cikkeiből készült jegyzetekkel. Tudományfilozófiai kurzusaimat az ebből vett gondolatmeneteket felhasználva tartottam meg. Amikor a dékáni (vagy inkább titkárnői) önkény egy nyári szünetben elfoglalta dolgozósobáinkat, a szabadságról visszatérve személyes holmijainkat a folyosón találtuk meg. Egyetlen dolog tűnt el: az a bizonyos spirálfüzet. Nyilván a legértékesebbet vitték el. Óriási szerencsém volt azonban – ekkorra már fejből tudtam, ami benne volt. Ezen túl is rengeteget köszönhetek Mártának, és sajnos már nem tudom viszonzni.

Bevezetés

A fizikai elméletek egy-egy meghatározott korszakban, adott társadalmi-kulturális körülmények között, a tudós közösség valamilyen állapotában, eleven – konkrét egzisztenciával, világnézeti háttérrel stb. rendelkező – tudósok tevékenysége révén jönnek létre. Newton pl. az angol polgárháború után, egy iparosodó társadalomban, a puritán vallás keretei között, a mechanikai világkép alakításán munkálkodó kollégák „nyomása alatt” dolgozott, de számos különböző kérdésben sajátos álláspontot is kialakított – és mindez meglátszik művein. A cikk célja ezeknek a tényezőknek a bemutatása a kvantummechanika kialakulásának környékén, különös tekintettel a résztvevő fizikusok hozzáállására.

Előzmények

A kvantummechanika egy olyan időszakban született meg a XX. század elején, amikor beteljesedni látszott a tudományak a filozófiától való elszakadást célzó kísérlete. Ez a kísérlet még valamikor a XIX. század közepe felé kezdődött az August Comte (1798-1857) féle pozitivizmus megszületésével. Comte szerint (Comte 1979:191-219) bármely intellektuális vagy történelmi fejlődés három stádiumon megy keresztül: a vallási (fiktív), a metafizikai (absztrakt) és a pozitív (reális) stádiumon. Az adott pillanatban a tudományok előtt álló feladat az volt, hogy kilépjenek az átmeneti metafizikai stádiumból és elérjék a pozitív (reális, hasznos, bizonyos, pontos) tudás területét. A természettudósok azért követték ezt

az ideált, mert már kiábrándultak a (klasszikus) német (idealista) filozófiából, terméketlennek tekintették azt. Míg például a század első felében számos fizikus (Hans Christian Ørsted, Michael Faraday stb.) hagyta magát befolyásolni Friedrich Schelling (1775-1854) romantikus természetfilozófiája által (Simonyi 1998:330), addig a század közepén Julius Robert Mayer (1814-1878) az energia megmaradásának tézisének felvető cikkét a szerkesztő – schellingiánus felvezetése miatt, valószínűleg nagyrészt olvasatlanul – visszadobta (Brush 2003:71). Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831) természetfilozófiáját szintén túl erőltetettnek, sematikusnak ítélték (Cohen and Wartofsky 1984:41). Talán csak Immanuel Kant (1724-1804) ismeretelmélete vészelt át bizonyos mértékben a természettudósok és a filozófia eltávolodását (elsősorban a német viszonyok között).

A pozitivizmus második korszakának a XIX. század végén a fizika szempontjából legbefolyásosabb alakja kétségtelenül Ernst Mach (1838-1916) volt¹. Ő azonban nem csupán a tudomány és a filozófia kapcsolatát kívánta megszakítani, hanem a mechanika és a fizikát addig elsősorban vezérlő mechanikai világnézet kritikai elemzését is végrehajtotta. 1883-ra írta meg a fizikusok által később leginkább olvasott „Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt” c. művét, majd 1886 elején adta ki a „Beiträge zur

¹ Nincs mód itt kitérni a fizikus közvéleményre „kevesebb” befolyást gyakorló szereplőkre, de a sort valószínűleg Henri Poincaréval (1854-1912) kellene folytatni. A Machról szóló bekezdésekben részben egy régi írásomra támaszkodtam (Szegedi 1974).

Analyse der Empfindungen”-t, amelyben inkább filozófiáját fejt ki. Ezek a művek megjelenésük idején nem keltettek különösebb feltűnést a fizikus kollégák körében. Ezt részben megérthetjük az utóbbi mű I. fejezetének (Metafizikaellenes megjegyzések) 13. pontjához írt lábjegyzetéből:

Mindig különös szerencsének éreztem, hogy atyám könyvtárából Kant „Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik” című műve nagyon korán (kb. 15 éves koromban) került a kezembe. Ez a mű, akkor hatalmas kitörülhetetlen benyomást tett rám, amelyet későbbi filozófiai olvasmányaimnál hasonló mértékben sohasem éreztem. Körülbelül 2-3 év múlva hirtelen megéreztem, hogy mily hiábavaló szerepe van a „Ding an sich”-nek. Egy derült nyári napon a szabadban egyszerre az egész világ *én*-emmel együtt *egy* összefüggő érzethalmaznak tetszett, csakhogy az *én*-ben az összefüggés szilárdabbnak látszott. Noha a tulajdonképpeni reflexió csak később alakult ki, mégis ez a pillanat volt döntő egész felfogásomra nézve. Egyébként még hosszú és kemény harcot kellett vívnom, míg képes voltam az így nyert álláspontot az *én* speciális tudományomban érvényesíteni. A fizikai tanok értékes elemeivel együtt szükségképpen nagy adag hamis metafizikát is szívunk magunkba, amely abból, amit meg kell tartanunk, nagyon nehezen választható el, különösen akkor, ha a tanoknak már teljesen birtokában vagyunk. Időnként az átöröklött instinktiv nézetek is nagy erővel léptek föl és utamon akadályul

szolgáltak. Csak a fizikával és az érzékek fizioiógiájával való változatos foglalkozás, továbbá a fizika történetére vonatkozó tanulmányaim (kb. 1863 óta) képesítettek arra, hogy nézeteimben nagyobb szilárdságot érjek el, miután a pszichofizikára vonatkozó előadásaimban (kivonat a „Zeitschrift für praktische Heilkunde”, Wien, 1863. 364. o.) eredménytelen kísérletet tettem arra, hogy az ellentmondást egy fiziko-pszichológiai monadológia által szüntessem meg. Nem tartok igényt arra, hogy filozófusnak tartsanak. Csak azt kívánom, hogy a fizikában oly álláspontot foglaljak el, amelyet nem kell rögtön elhagyni, mihelyt a szomszédos tudomány területére lépünk, mert hiszen mindannyian egy egységes egészet alkotnak. A mai molekuláris fizika *nem* felel meg ennek a követelménynek. ... (Mach 1927:21)

Ebből egyrészt kiderül, hogy a szerzót meglehetősen speciális körülmények – önnön pszichikai fejlődésének sajátosságai, az általa tanulmányozott (elsősorban érzetfizioiógiai) jelenségek stb. – motiválták nézeteinek kialakításában, másrészt, hogy e nézetek egyáltalán nem voltak elfogadottak a kortárs fizikában. Nagyjából egy évtized késéssel az említett két könyvet lefordították angolra is, de igazából széles olvasóközönségre nem tett szert. A századforduló utáni évtizedben azonban évente átlagosan több mint egy új kiadásuk jelent meg (nem csupán németül), és akkor nem beszéltünk az időközben megírt új művekéről (a később említendő hótani könyvén kívül a *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen* [1896]

és az *Erkenntnis und Irrtum* [1905]).² A növekvő érdeklődés oka feltehetőleg a tudósoknak az anomáliák súlyosbodása miatt megjelenő válságérzete – ha Thomas Kuhn (1922-1996) terminológiáját használjuk.

Mi is ez a felfogás, amit a fizikusok (és a Monarchia értelmisége általában) e művekben olvashattak, és amely oly jelentősen befolyásolta gondolkodásukat? Mach alapvető törekvése – amint ez jellemző az egész pozitivizmusra – minden metafizika kizárása a megismerési folyamatból. Ennek értelmében az ismeretszerzésben csak a közvetlen tapasztalatok számítanak. Ezt mintegy ontologizálva, Mach szerint a világ érzetekből (illetve azok komplexumaiból) – mint elemekből – áll, és csak azokból. A tapasztalatok feldolgozása (fogalmaink, a beszéd, az írás, továbbá az egész tudomány) „a gondolkodás ökonómiájának elve” szerint szerveződik, amely Darwin nyomán fogalmazódott meg benne. Ezek igazából filozófiai elvek, de a mechanika kritikájában egy konkrét stílus is megjelenik. Newton axiómarendszerét bírálva már az „I. Meghatározás”-t (Newton [1686] 2003:101) kifogásolja, ugyanis szerinte az „anyag mennyisége” kifejezés (vagyis a newtoni tömegdefiníció) nem rendelkezik világos jelentéssel. Megpróbál tehát egy új megoldást kidolgozni a tömeg definiálására. Először megmondja, hogyan kell az egyenlő tömegeket meghatározni:

Mindazon testek egyenlő tömegűek, amelyek, kölcsönhatást gyakorolva

² Némileg hasonlóan alakult az első egzisztencialistának mondott Søren Kierkegaard (1813-1855) fogadtatása is. Az 1840-es években dánul megírt (és szinte csak Skandináviában ismert) műveit 1870-től fordították le németre, de az európai kultúrára csak a századforduló környékén kezdtek hatást gyakorolni.

egymásra, egymáson egyenlő mértékű és ellenkező irányú gyorsulásokat hoznak létre. (Mach [1889]:203 1919:218)

Majd kiterjeszti a definíciót tetszőleges tömegű testekre, úgy, hogy a tömegek aránya a gyorsulások arányának negatív inverze lesz. Ezután megjegyzi:

Tömegfogalmunkban nincs elmélet; az „anyag mennyisége” teljesen szükségtelen hozzá; mindössze egy tény pontos megállapítását, megjelölését és megnevezését tartalmazza. (Mach [1889]:203, 1919:218)

Végül a dolog le is egyszerűsödik, mert állandó gravitációs gyorsulás mellett a tömegeket a súlyokkal is mérhetjük. Mach tehát egy – a kiindulóponton egyébként inkább csak elvi – mérési eljárás segítségével definiálja a tömeget, mint fizikai mennyiséget, vagy fogalmazhatunk úgy is, hogy ad jelentést a tömeg fogalmának. Mint látni fogjuk, ez a módszer nyerte el a fizikus kollégák tetszését.

E helyütt nem megyünk bele Mach Newton felett gyakorolt további kritikai megjegyzéseibe, amelyeket a fogalomalkotáson túl kiterjesztett a Newton-törvényekre is. (Mach [1889]:226 1919:242) Csupán a térről, időről és mozgásról alkotott nézeteit vázolnánk röviden. Mach szerint az abszolút idő csak egy látszat, az idő maga egy olyan absztrakció, amelyhez a dolgok változása vezetett el bennünket. „Egyenletes múlás”-a (Newton [1686] 2003:107) csak egy mozgáshoz viszonyítva értelmezhető, önmagában értelmetlen. Hasonló a helyzet az abszolút térrel és abszolút mozgással is:

Senki sem kompetens az abszolút térről és abszolút mozgásról dolgokat megjósolni; ezek tisztán gondolati dolgok, tiszta mentális konstrukciók, amelyeket nem lehet kísérletekben létrehozni. (Mach [1889]:214 1919:229

A testek mozgását, helyét mindig csak más testekhez képest, azok jelenlétében tudjuk megadni. Az abszolút és relatív mozgás különbségét bizonyítani kívánó Newton-féle vödörkísérlettel (Newton [1686] 2003:113-114) kapcsolatban Mach megállapítja, hogy

Senki sem képes megmondani, hogyan végződne a kísérlet, ha a vödör oldalfalait vastagságban és tömegben addig növelnénk, míg végül sok mérföld vastagok lennének. (Mach [1889]:217 1919:232)

Ebben a felfogásban a testek viselkedését végső soron a távoli égitestekhez, vagyis lényegében az egész világegyetemhez viszonyítjuk (Mach [1889]:217 1919:233) és tehetetlenségük is onnan származik (Mach [1889]:218-222 1919:234-238) (Mach-elv).

Machnak ezek a nézetei inspirálólólag hatottak – például Einsteinre is –, de néhány következtetése nem aratott osztatlan sikert a fizikusok körében sem. Voltak, akik elfogadták (az elmúlt évszázadban számos cikk és könyv született Mach recepciójáról a társadalmi élet és a tudomány különböző területein, vagy akár egyes személyeket illetően is; itt csak három olyan könyvet említenék meg, amelyek az általunk érintett fizikusokról is szólnak: Blackmore 1972, Cohen and Seeger 1970, Stadler 2019), hogy az érzetkomplexumok mögötti tárgyak valódiságának feltételezése feleslegesen megkettőzi a világot, vagy hogy nincsen

okság, csak elemkomplexumok együttes előfordulása, mások viszont ezt túlzásnak tartották. Hasonlóképpen, a következő állítás megfoghatott néhány tudóst a kvantummechanikával foglalkozók közül, mások azonban idegenkedtek tőle (A recepcióval kapcsolatosan említett műveken túl, kifejezetten Mach kritikussait Banks 2003:8-10 tekinti át, mégpedig nem csupán az általunk tárgyalt korszakra, hanem a későbbi hullámokra vonatkozóan is):

Nincs szakadék a lelki és testi jelenségek között, nincs *belső* és *külső* világ, nincs *érzet*, amelynek valamely külső és tőle különböző dolog felel meg. Csak *egyféle elem* van, belőlük épül fel az állítólagos *belső* és *külső* világ és csak a pillanatnyi szempont az, ami meghatározza, hogy mi van benn, mi van kűnn. (Mach 1927:215)

Sokan (elsősorban Boltmann és hívei, kritikájuk azonban általában nem érintette túlságosan súlyosan Mach ismeretelméleti-módszertani nézeteit) nem fogadták el atom-ellenességét:

Ha már a közönséges «anyag» sem tekinthető másnak, mint az érzéki elemek viszonylag állandó kapcsolatára vonatkozó, önkénytelenül adódó természetes gondolatszimbólumnak, még sokkal inkább áll ez a fizika és a kémia mesterséges, hypothetikus atomjaira és molekuláira. (Mach 1927:215)

„Látott Ön már valamikor egy atomot?”³ (Thärkauf, 1973) kérdezte az őt

³ Persze Machnak valamennyire igaza volt, ha figyelembe vesszük a kor által elképzelt horogszerű vegyértékeket stb.

meginterjúvoló Max Thärkaufától, akinek szemére hányta, hogy vegyész, és így felelősséggel tartozik ezért a kitalációért. E gondolat általánosabban megfogalmazva is csak egy adott körben lett népszerű, távolról sem mindenkinél:

A fizikára vonatkozólag, pl. azt hihetné az ember, hogy itt nem annyira az érzékileg észlelhető tények összefoglaló feltüntetése a fontos, hanem inkább azon atomoké, erőké és törvényeké, amelyek valamiképpen amaz érzékelt tények *magvát* adják. Azonban az elfogulatlan meggondolás megmutatja, hogy minden *gyakorlati* és *intellektuális* igényünk ki van elégítve, mihelyt képesek vagyunk az érzékelt tényeket gondolataink által tökéletesen leképezni. Ez a leképezés tehát a fizika *célja* és *értelme*, ellenben az atomok, erők és törvények csak *eszközök*, amelyek a leképezést megkönnyítik. Ez utóbbiak értéke csak *addig* ér ameddig segítséget tudnak nyújtani.

(Mach 1927:218)

Planck

A kvantummechanikát azonban természetesen elsősorban nem filozófiai meggondolások, hanem fizikai problémák hívták életre. Az elektrodinamika, a termodinamika és az újkori atomelmélet találkozásában jött létre, főleg a különböző anyagok által kibocsátott (és elnyelt) sugárzások megoldatlan problémáira – az ún. hőmérsékleti sugárzására és a színeképvonalakéra – adott válaszként. Az első problémával kapcsolatos elmélet kialakításával Max Planck

(1858-1947) óriási lépést tett a modern fizika irányába.⁴ Az ő kutatási módszerei elméleti jellegűek voltak, és mint ilyen „országszerte az egyetlen” (Planck 2003, „Tudományos önéletrajz”:53), sőt az első elméleti fizikai Nobel-díjat is ő nyerte el. Az abszolútum, a legalapvetőbb és legáltalánosabb fizikai elvek kutatásának céljával jutott el a hőtanon belül az energiatételig, majd az entrópia fogalmáig és a termodinamika második főtételéig. Ezeket alkalmazta különböző fizikai és kémiai folyamatokra. Legnagyobb sikerét azonban akkor érte el, amikor a termodinamikai apparátust a fekete-test sugárzásának problémájára illesztette. Az eredményül kapott – az ismert mérési adatoknak pontosan megfelelő – formula mögött ott állt az a hipotézis, hogy a sugárzással valamiféle diszkontinuitás kapcsolatos. A számára is megdöbbentő eredményhez vezető Boltzmann-féle valószínűségi módszerekről Plancknak korábban nem volt jó véleménye, mert ezek nem feleltek meg a törvények abszolút érvényességéről alkotott elképzeléseinek, de képes volt valamennyire túltenni magát az előítéletein. Ennek ellenére a következő 12 évben sokat küzdött azért, hogy a hatáskvantumot beleillessze a klasszikus fizikába. Konzervatív törekvéseit azonban végül fel kellett adnia.

Planck ismeretelméleti nézetei elsősorban a kanti koncepción alapultak, bár egy időben (pl. az 1880-as évek közepén írt cikkeiben) nem tudta kivonni magát Mach hatása alól sem. Minthogy azonban elméleti fizikusként feltételezte nagyon

⁴ Cikkem e részének megírásakor jelentős mértékben támaszkodtam a (Planck 2003) gyűjteményhez írt előszavamra. [<http://mek.oszk.hu/05000/05010/html/planckirasai0001.html>]

általános törvények létét és azok különböző területeken való alkalmazhatóságát, utóbbival – és még korábban Wilhelm Ostwalddal (1853-1932) – mind szakmai mind világnézeti vonalon előbb-utóbb szembe kellett kerülni. Ennek nyomait már láthatjuk az 1897-es termodinamika tankönyvében (*Vorlesungen über thermodynamik*, angolul Planck 1926), amely évtizedekig a legjobb volt a maga területén, több német és angol kiadást is megért a következő három évtizedben. Ha összehasonlítjuk például a hőmérsékletről szóló fejezetet, Machnak körülbelül ugyanekkor megjelent termodinamika könyve (Mach 1896) megfelelő részével, akkor láthatjuk, hogy nagyjából ugyanonnan – a hőérzetből, vagy általánosabban megfogalmazva: a tapasztalatból – indulnak ki, de Planck sokkal messzebbre jut, mint osztrák kollégája. Vagy idézhetünk Planck könyvének egy másik fejezetéből, a termodinamika második főtételével kapcsolatban:

A törvény ebben az általános formában helyes vagy nem, de akármilyen is, ilyen marad; függetlenül attól, hogy léteznek-e a Földön gondolkodók és kísérletezők vagy sem, és ha feltesszük, hogy léteznek, képesek-e a fizikai és kémiai folyamatok részleteit nálunk egy, két vagy száz tizedessel pontosabban mérni. A törvény korlátainak, ha egyáltalán valahol, akkor ugyanazon a területen kell állniuk, mint alapeszméjének, a megfigyelt Természetben és nem a Megfigyelőben. Az, hogy a törvény levezetésénél az emberi tapasztalatot hívtuk segítségül, semmiféle következményekkel nem jár, mivelhogy ez az egyetlen módunk a természeti törvények

megismerésére. De az egyszer már felfedezett törvény függetlenségét el kell ismernünk, legalább addig a fokig, hogy a Természeti Törvény fennállását az Észől függetlennek mondhatjuk. Aki ezt tagadja, annak tagadnia kell a természettudomány lehetőségét. (Planck 1926:106)

Ez kétségtelenül nem pozitivistista álláspont.

Nyíltan – addigra megszerzett tekintélye birtokában – 1908-as leideni előadásában (Planck 2003:71-109) kezdi bírálni Mach tudományfelfogását (amit ekkor még pártfogoltja, Einstein is értetlenül fogad), de az előzőekből következően ugyanezek a nézetek lehettek jellemzők rá a kvantumfizika elindításának időszakában is. Planck, ahogy korábban, most sem tudja a kollégákkal elfogadtatni felfogását, ezt tükrözi a „Tudományos életrajz”-ából híressé vált szkeptikus megjegyzése az új tudományos igazságok győzelemre jutásáról az ellenfelek kihalása révén (Planck 2003:56).⁵ A vitatkozást emiatt lényegében abba is hagyja, amelyben szempontunkból az az öröndetes, hogy ugyan jóval később, de pozitív kifejtésben is előadja nézeteit (Planck 2003, „Az új fizika világképe”:110-144). Ezek szerint az érzéki világból (a fizikában a mérésekből) kell kiindulnunk, de – a pozitívizmustól elhatárolódva – az észszerűség jegyében fel kell tennünk egy reális külvilág létezését, amelyet azonban közvetlenül nem, hanem mindig csak bizonyos torzítással, az érzéki

⁵ A tudományozociológiában Planck-elvnek nevezik a tudományfejlődésnek ezt a módját, szélsőségként szembeállítva a másik szélsőséggel, a Popper-elvvel, amely szerint a tudósok azonnal feladják elméleteiket, ha a kísérletek megcáfolják jóslataikat. Mindkét elvre példákkal és ellenpéldákkal szolgál (Holton and Brush 2001).

világon keresztül tudunk megismerni. Az érzéki és a reális világ között helyezkedik el a fizikai világgép (vagyis a tudomány), amely az emberi szellem tudatos alkotása – szemben az első kettővel. A fizikai világgép célja a két világ közötti kapcsolat megteremtése, azaz a reális világ megismerése és az érzéki világ minél egyszerűbb leírása. Egyoldalúság lenne bármelyik világot előnyben részesíteni (ahogy a metafizika illetve a pozitivizmus teszi), mindkettőt alkalmazni kell, ahogy a fantáziát és a tényekhez való ragaszkodást is. Plancké tehát egy főleg a fizikára konkretizált kanti kép. Itt van a kanti magánvaló világ és a számunkra való világ, amelyek között nincs ellenőrizhető kölcsönhatás, de szerepel helyette a fizikai világgép (a tudomány), amely érdekes módon próbálja megteremteni a kapcsolatot. Ez a kép motiválhatta Planckot, ezért tartotta fontosnak az elméleti munkát, és ezen belül a kvantummechanika elméleti megalapozásához vezető tevékenységét.

Einstein

Planck fizikai felfedezését egyik elsőként Albert Einstein (1879-1955) gondolta tovább. Az ő filozófiai nézetei⁶ ebben az időben főleg, de nem kizárólag Mach hatására vezethetőek vissza. Az 1905-ös relativitáselméleti cikkének indítása, az egyidejűség definíciója (Einstein 2005:83-86) világosan Mach mérési eljárás alapján alapuló tömegdefiníciójának nyomában jár. Minthogy az egész speciális elmélet ezen alapul, sikerét egyben a Machi módszer sikerének is

⁶ L. Székely László előszavát az (Einstein 2005) gyűjteményhez.

tekinthetjük és tekintették is később olyan jelentős fizikusok, mint például Heisenberg (Heisenberg 1975:89-91). Einsteinnek azonban más motivációi is voltak, bizonyosan nem tekintette az elméleteket, törvényeket az érzéki adatok szimpla gazdaságos összefoglalásának. Talán ő is Kantból kiindulva, akit olvasott, talán tőle függetlenül, de hitt egy intelligibilis világ, azon belül törvények létezésében, és ezek elméleti leképezésének lehetőségében. Ellentétben Mach követőivel, az atomok létezéséről is meg volt győződve, ezért kifejezetten kereste a bizonyítékokat erre (Einstein 2005, „Önéletrajz”:412). Eközben jött rá, hogy egy folyadékban lévő apró részecskéknek a folyadékmolekulák hőmozgása következtében rendezetlen mozgást kell végezniük – utóbb tudomására jutott, hogy Robert Brown (1773-1858) ezt már háromnegyed évszázada leírta. A szintén 1905-ös cikkben (Einstein 1905) ennek elméleti oldalát fejti ki, levezetve, hogy az ilyen részecskék átlagos elmozdulása az eltelt idő négyzetgyökével arányos. Jean Perrin (1870-1942) 1908-ban bizonyította be a szuszpenzióban való leülepedés ultramikroszkóppal történő megfigyelésével (Perrin 1909), hogy Einstein elmélete helyes – ez volt az első komolyan vehető bizonyíték a molekuláris hipotézisre. Hasonlóan elméleti úton jut el a fénykvantum-hipotézishez. Planckból indul ki, aki a hőmérsékleti sugárzás eloszlására adott képlete mögött azt kénytelen feltételezni, hogy a feketetestként szereplő üreg falaiban lévő atomi oszcillátorok adott frekvencián csak bizonyos energiaadagok egész számú többszöröseit képesek elektromágneses sugárzás formájában leadni vagy felvenni. Ebből azonban még

nem feltétlenül következik, hogy maga a sugárzás – konkrétan a fény – is diszkrét energiaadagokból áll, ahogy Einstein fogalmaz:

Habár a sört mindig pintes palackokban árulják, ebből nem következik, hogy a sör oszthatatlan pintes adagokból áll.⁷

Ő azonban Boltzmann nyomán statisztikai gondolatmenetben látja be, hogy ez így van, majd ennek segítségével megmagyarázza Lénárd fényelektromos kísérleteit. Az 1905-ben kifejtett gondolatai közül ez a legradikálisabban új (olyannyira, hogy ekkor Planck, Bohr és a fizikusok többsége egyáltalán nem fogadta el), ezért kapta meg 1922-ben az előző évi fizikai Nobel-díjat⁸.

Einstein később eltávolodik a machi felfogástól, és mondjuk 1935-ös cikkében (Einstein 2005, „Teljesnek tekinthető-e a fizikai valóság kvantummechanikai leírása”:195-197) már olyan „fizikai realitás”-ról beszél, amely biztosan nem felel meg Mach elképzeléseinek.

Bohr

⁷ Idézi (Frank 1947:71).

⁸ Gyakran úgy értelmezik, hogy ez a döntés felemás volt, mert Einsteint mindenképpen jogosultnak tartották a díjra, de a relativitáselmélet esetében egyrészt kérdéses volt, hogy megfelel-e Nobel kritériumainak, amelyek értelmében a fizikai díjat a legnagyobb „felfedezés vagy feltalálás” (ami ráadásul az emberiség javára válik és az előző évben történt – ez utóbbit ekkor már nem vették figyelembe) tulajdonosának kellett volna adni, másrészt a relativitáselmélettel kapcsolatos viták még nem dőltek el. Ezért a „gyáva” bizottság inkább a kvantumelméletet említette meg az indoklásban. Valójában 1905-ben (és még jóval később is) a speciális relativitás elmélete jóval elfogadottabb volt, mint a foton-hipotézis; és ha így nézzük, akkor a bizottság sokkal inkább bátor, sőt forradalmi volt, mint gyáva.

Niels Bohr (1885-1962) szintén Planck munkáira alapoz, mégpedig nem csupán a hőmérsékleti sugárzásra vonatkozó elméletére, hanem azokra is, amelyekkel a hatáskvantumnak a klasszikus fizikába való beillesztési törekvései közben foglalkozott. Atommodellje óriási áttörést jelent a szinképek magyarázatában, és – lévén az utolsó szemléletes mikrofizikai kép – bizonyos célok érdekében még ma is használjuk. A modell azonban súlyos ellentmondást hordoz magában (a klasszikusnak képzelt pályán mozgó elektronoknak sugározniuk kellene, amit mesterségesen kell megtiltani számukra), és ezzel maga Bohr is tisztában volt. Ezért várta egy új kvantumelmélet megjelenését, amelynek elkészítéséhez tulajdonképpen receptet is adott a korrespondencia elv formájában. E szerint az új elméletnek határesetben vissza kell adnia a klasszikus eredményeket. Ötletein kívül – a Rockefeller Alapítvány segítségével – anyagilag, és a megfelelő tudományos légkör megteremtésével is elősegítette a kvantummechanika létrejöttét. Az elmélet megszületése után pedig olyan értelmezést adott annak a komplementaritási elv segítségével, amely egy időre sikeresen lezárta a vitákat, lehetővé téve a fiatal fizikusok számára a konkrét számításokra való koncentrációt.

Bohr kulturális és családi hátterét filozófiai szempontból a brit empirizmus és Kant jelentette, egyértelműen ismeretelméleti megközelítéssel⁹. Ez nagyon közel állt a természettudósok között elterjedt Mach-féle felfogáshoz, de szakmai fejlődése miatt ő is élt bizonyos fenntartásokkal. Doktori védése után ugyanis

⁹ L. (Folse 1985: Chapter Two).

Cambridge-be került a Cavendish Laboratóriumba, amelyet J. J. Thomson (1856-1940) – mondhatni az elektron felfedezője – vezetett, majd Manchesterbe ment Ernest Rutherfordhoz (1871-1937), az atommag felfedezőjéhez. Ezeken a jórészt kísérleti fizikai kutatóhelyeken az elektront, az atommagot, és így az atomot realitásként kezelték, szemben Mach nézeteivel. Bohr maga is az atommodellekkel kezdett foglalkozni, ezen a területen érte el fent említett eredményét, és szintén realitásként fogta fel elméleti munkája tárgyát. Bohr az egyetemen filozófiatörténeti kurzust is hallgatott, amelyet a család barátja, apja vitapartnere, Harald Høffding (1843-1931) tartott. Eljárt ezenkívül a Høffding által az érdeklődő hallgatók számára szervezett filozófiai klubba is. Itt ismerkedett meg egy pszichológus barátja révén William James (1842-1910) munkásságával, akinek korai pszichológiája bizonyos átfedéseket mutatott Mach nézeteivel. Ennél is fontosabb azonban, hogy Høffding Søren Kierkegaard (1813-1855) híve volt, elsősorban annak Hegel-kritikáját elfogadva. Így Bohr olvasta például Kierkegaard: *Stádiumok az élet útján* c. könyvét (del Regato 1981), ami nagyon tetszett neki – egy alkalommal pl. ezt küldte öccsének születésnap ajándékként:

Ezennel elküldöm neked Kierkegaard „Stádiumok az élet útján”-ját. Ez az egyetlen dolog, amit el kell küldenem; de nem hiszem, hogy könnyű lenne bármi jobbat találni. Mindenesetre nekem nagyon nagy örömöm tellett az olvasásában, sőt, azt hiszem egyike a legjobb könyveknek,

amit valaha is olvastam.¹⁰

Kierkegaard és Høffding nézetei egyes pontokon egybecsengenek Mach felfogásával, ami megerősíthette Bohrban azt az érzést, hogy milyen lényeges az objektumoktól elkülöníthetetlen megfigyelő szerepe, vagy hogy nem muszáj ragaszkodni a klasszikus determinizmushoz.¹¹ Kierkegaard azonban másfelé is elvezette Bohr gondolkodását: a hegeli dialektika hármasságának, a szintézis lehetőségének tagadása az ún. „minőségi dialektika” nevében, tehát a „vagy-vagy” tézis, a stádiumok felállítása egyfajta – a filozófusnál természetesen erkölcsi, a világfelfogásra vonatkozó – előképét jelenti a természetleírásra vonatkozó Bohr-féle komplementaritási elvnek. Ennek szerényebb – a Heisenberg-féle határozatlansági relációra támaszkodó – formája a mikroobjektumok egymást kiegészítő, de együttesen sosem jelentkező két tulajdonságról szól; kiterjesztése pedig a valóság leírásának két kibékíthetetlen oldalát feltételezi.

de Broglie

Louis de Broglie (1892-1987) legjelentősebb eredménye elérésekor Einstein két legfontosabb elméletét – a fénykvantum hipotézist és a relativitáselméletet – tartotta szem előtt, de kortársai közül tanulmányozta Lorentz és Langevin elméleti munkáit, Boltzmann és Gibbs statisztikus fizikai tevékenységét,

¹⁰ Idézi (Rozenal 1967:27).

¹¹ L. (Jammer 1966:4.2.).

valamint Planck és Bohr kvantumproblémákkal foglalkozó cikkeit is. Jól ismerte a klasszikus analitikus mechanikából a Hamilton-Jacobi elméletet. Konkrétan a fény korpuszkuláris természetéből, valamint az órák és hullámjelenségek frekvenciája relativisztikus változásának különbségéből következtetett arra, hogy minden szabad részecskéhez egy vele kapcsolatos hullám rendelhető. Ezzel a forradalmi gondolattal lényegében megfordította az Einstein-féle fénykvantum hipotézist, amely még maga sem volt általánosan elfogadott ebben az időben (bár Léon Brillouin visszaemlékezései szerint¹² pont Franciaországban Perrin és M. Curie, vagy akár Langevin – de Broglie témavezetője – minden további nélkül tudomásul vették és esetenként alkalmazták is). Minthogy a geometriai optika Fermat-elvét és a klasszikus dinamika legkisebb hatás elvét a Hamilton-Jacobi formalizmusban hasonló módon lehetett felírni, de Broglie analóg módon azt feltételezi, hogy a hullámoptikához hasonlóan megalkotható egy hullámmechanika, amely határesetként magában foglalja a klasszikus mechanikát, de az elektron hullámtermészetét is. Ez az analógia nyitotta meg tulajdonképpen az utat Schrödinger ide vonatkozó munkássága felé.

L. de Broglie munkásságának elsődleges motivációja már a korai időszakban is a hullám- és részecskekép lehetőség szerinti egyesítése volt. Bátyja, Maurice de Broglie laboratóriumában ugyanis röntgenspektrumokkal és a fényelektromos hatással foglalkozott, amely témakörökben a mások számára egymással nem kompatibilisnek mutatkozó hullám és részecske fogalmak egyaránt előfordultak.

¹² Idézi (Mehra-Rechenberg 1982:580).

A szintézis de Broglie gondolataiban már ekkor egy terjedő hullám szerkezetébe ágyazott lokalizált objektumként jelent meg (pl.: de Broglie 1973:12). Ezt próbálta aztán különböző módokon leírni doktori disszertációjában vagy cikkeiben. A szintézisre törekvés filozófiai háttérének rekonstruálása nem könnyű feladat, mert a kvantummechanika kialakulásának időszakában a francia fizikus csak szakfizikai cikkeivel jelentkezett, amelyekben nem érint ilyen témákat. Későbbi visszaemlékezéseiből (pl. de Broglie 1968:7-34) az tűnik ki, hogy – korábbi humán érdeklődése ellenére – nem rendelkezett szisztematikus filozófiai ismeretekkel, felfogása nem teljesen koherens. Valószínűleg egyszerűen a francia felvilágosodás filozófiájának nyomán foglal el egy reflektálatlan realista, newtoni módon determinista álláspontot. Világnézetének talán legérdekesebb vonása, hogy – a kortárs fizikusok többségével ellentétben – eleinte biztosan nem érinti meg a pozitivizmus (machi formája). Ez magyarázható elméleti érdeklődésével és az ezzel kapcsolatos olvasmányjaival (Lorentz, Langevin, Boltzmann stb.). Még Poincaré olvasása után is elsősorban az analógiák fontossága marad meg benne, nem pedig pl. a konvencionalista felfogás. Mindezek jegyében tett javaslatokat a kvantummechanika átfogalmazására az ún. kettős megoldás, majd pedig a vezérhullám elmélet formájában, amelyek eredeti gondolatainak – szerkezetileg összefüggő hullám és lokalizált objektum, vagyis részecske – megfelelő modellek. A modellek matematikai reprezentációjának nehézségei és a közhangulat hatására azonban felhagyott próbálkozásaival, átvette a koppenhágai iskola szöfordulatait. Csak mintegy negyedszázad múltán tért vissza korábbi

elképzeléseihöz (első cikke ebből a periódusból: de Broglie 1968:194-222), amikor már nem kellett egyedül éreznie magát (korábbi magányosságáról Bohm számol be egy interjúban, amelyet Pinch 1977:181-182 közöl) törekvéseivel.

Heisenberg

Werner Heisenberg (1901-1976) tette – Schrödinger mellett – a legtöbbet a kvantummechanika megalapozásáért, és egyben talán ő volt az is, aki ezt leginkább filozófiai-módszertani motivációk alapján csinálta. E motivációk, legalább részben, hallgatótársától, barátjától, később kollégájától, Wolfgang Paulitól (1900-1958) származnak. Paulira ifjúkorában rendkívüli benyomást gyakoroltak keresztapjának, Machnak a nézetei. Már 1919-ben az a véleménye, hogy csak elvileg megfigyelhető mennyiségeket szabad bevezetni a fizikába, később konkrétan is tiltakozik az elektronpálya fogalma ellen.¹³ Véleménye erősen hatott Heisenberg álláspontjára. Mindkettőjük machista meggyőződésének egyik alapja volt, hogy szemükben ez a módszer egyszer már nagyon eredményesnek bizonyult Einstein speciális relativitáselméletének kidolgozásakor. Heisenberget ebben a hitében megerősíthette, hogy a Bohr köréhez tartozó Hans Kramers (1894-1952) diszperzióelméleti (a fény szóródása atomi elektronokon) formulája – amelyen közösen dolgoztak – az atomi átmeneteknek csak a mérhető mennyiségeit (színképvonalak frekvenciái és

¹³ Pauli nézeteiről l. pl. (Enz 1973:766-768; McKinnon 1977:155-156; Serwer 1977:189-256; Laurikainen 1983:122-123).

intenzitásai) tartalmazta. Így Heisenberg első mátrixmechanikai cikkébe a pozitívizmusnak ez az oldala került be explicite:

Ismeretes, hogy a formális szabályokkal szemben, melyeket általában a kvantumelméletben megfigyelhető mennyiségek (pl. a hidrogénatom energiája) kiszámítására használnak, az a súlyos kifogás emelhető, hogy e számítási szabályok lényeges alkotóelemként olyan mennyiségek között fennálló összefüggéseket tartalmaznak, amelyek - úgy látszik - elvileg megfigyelhetetlenek (mint pl. az elektron helye, keringési ideje), hogy tehát ezeknek a szabályoknak nincs szemléletes fizikai alapjuk, hacsak nem akarunk még mindig ragaszkodni a reményhez, hogy a mondott, mindeddig megfigyelhetetlen mennyiségeket később talán kísérletileg hozzáférhetővé lehet tenni ... A dolgok ilyen állása mellett tanácsosabbnak látszik reményünket az eddig meg nem figyelt mennyiségek (így az elektron helye, keringési ideje) megfigyelésére teljesen feladni, ... és kísérletet tenni egy a klasszikus mechanikával analóg kvantumelméleti mechanika kiépítésére, melyben csak megfigyelhető mennyiségek közötti összefüggések fordulnak elő. (Heisenberg [1925] 1971:11-12)

Born visszaemlékezései szerint éppen ez a filozófiai elv oldotta meg a problémákat (Born 1973:296).

Heisenberg pozitívizmusa a határozatlansági relációt ismertető későbbi cikkében is igen határozott formát ölt:

Ha tisztázni akarjuk, hogy miként értendő a kifejezés „az objektum helye” ... úgy meghatározott kísérleteket kell megadnunk, amelyek segítségével elgondolásunk szerint „az objektum helye” megmérhető; másként nincs értelme ennek a kifejezésnek. (Heisenberg [1926] 1971:212)

A szerző leír egy lehetséges – egyébként meglehetősen klasszikus jellegű – ilyen mérést, amelyben

A helymeghatározás pillanatában ... az elektron diszkontinuus módon változtatja meg impulzusát ... Abban a pillanatban tehát, amelyben az elektron helye ismert, impulzusa ennél fogva csak ezen diszkontinuus változásnak megfelelő mennyiség erejéig lehet ismeretes. Minél pontosabban határoztuk meg tehát a helyet, annál pontatlanabban ismert az impulzus és megfordítva ... Legyen q_1 a pontosság, mellyel q értékét ismerjük ... p_1 pedig a pontosság, mellyel p értéke meghatározható, úgy p_1 és q_1 között a

$$p_1 q_1 \sim h \quad (1)$$

kapcsolat áll fenn. (Heisenberg [1926] 1971:213)

Ez a már említett határozatlansági reláció első formája. Heisenberg mindjárt le is vonja a machi álláspontnak megfelelő filozófiai következtetést:

A kauzalitás törvényének éles megfogalmazásában, amely szerint „ha a jelent pontosan ismerjük, úgy a jövőt kiszámíthatjuk”, nem az utóbbi következtetés, hanem az előfeltevés téves. A jelen, az azt meghatározó

összes adat megismerése elvileg *nem lehetséges* ... kísértést érezhetünk, hogy azon sejtésnek adjunk kifejezést, amely szerint az észlelt statisztikus világ mögött még egy „valóságos” világ rejlenék, melyben a kauzalitás törvénye érvényes. Az ilyen elméletek azonban – ezt kifejezetten hangsúlyozzuk – természetlenek és értelmetlennek tűnnek számunkra. A fizikától csak azt kívánjuk, hogy formálisan leírja az észleletek kapcsolatát. A dolgok valódi állásának helyesebb jellemzése inkább így adható meg: Minthogy minden kísérlet a kvantummechanikának, s azzal együtt az (1) egyenletnek van alávetve, a kvantummechanika a kauzalitás törvénye érvénytelenségének definitív megállapítását adja. (Heisenberg [1926] 1971:213)

Heisenberg itt tulajdonképpen a Pascual Jordan által felvetett problémát válaszolja meg. Jordan úgy foglal állást (Jordan 1927), hogy a kauzalitás nem *a priori* kategória, hanem kísérleti probléma. Míg a klasszikus mechanikában érvényesült a kauzalitási elv, addig a kvantummechanikában az ugrások miatt esetleg fel kell áldozni a determinizmust (a kauzalitás és a determinizmus elve nála lényegében azonos), az új elméletben csak sok esemény átlagáról beszélhetünk. Jordan még nyitva hagyja azt a lehetőséget, hogy a kvantummechanika módosulhat ebben a vonatkozásban, Heisenberg azonban a felvetett problémákat a fent idézett módon egyértelműen eldönti (Beller 1985). E ponton kerül be az indeterminizmus újra a kvantummechanikába, még hozzá – ha

lehet így fogalmazni – egy a korábbinál fejlettebb formában.

Schrödinger

Már említettük, hogy Erwin Schrödinger (1887-1961) volt a kvantummechanika másik megalapozója. Az ez irányú munkáját nagy valószínűséggel befolyásoló filozófiai nézetei még a fent felsoroltaknál is összetettebbek.¹⁴ Felfogásának egy része Boltzmann Bécsi Egyetemen tanító utódaitól származik.

[Boltzmann] gondolkodásmódját nevezhetjük első szerelmemnek a tudomány területén. Soha semmi nem ragadott meg ennyire, és már nem is fog. (Schrödinger [1929] 1957:xiv)

Ez egyszerre mutatott egyfajta ismeretelméleti realizmust és lételméleti indeterminizmust (akauzalizmust). Az előbbi szembemegy az egyetemen szintén jelenlévő Mach-féle pozitivizmussal és gondolkodásökonómiával, amennyiben következetesen atomista. Az utóbbi is csak látszólag felel meg pontosan a machi felfogásnak, amennyiben nem módszertani, hanem inkább ontológiai jellegű, vagyis egy az atomizmussal összefüggő, a létezők mélyebbről eredő statisztikus (indeterminisztikusan fluktuáló) viselkedését feltételezi, korábbi tanára Franz Exner nyomán is. Jól tükrözi mindezt Schrödinger egy Bohr-cikkkel kapcsolatos – a szerzőhöz írt – levele:

¹⁴ Felfogásának ismertetéséhez jelentős mértékben felhasználtam az általam írt előszót a (Schrödinger 2014) kötethez, ahol további részletek és hivatkozások találhatók

A legnagyobb érdeklődéssel olvastam a *Phil. Mag.* májusi számában gondolkodásának érdekes megváltozását. Rendkívüli módon szimpatikus számomra ez a változás. Franz Exner tanítványaként régóta kedvelem azt a gondolatot, hogy statisztikánk alapja valószínűleg nem a mikroszkopikus „szabályszerűség”, hanem talán a „tisza véletlen”, és hogy talán még az energia- és impulzustörvényeknek is csak statisztikus érvényességük lehet. ... Az Ön új szempontja a klasszikus elmülethez való messzire vezető visszatérést jelenti, ami a sugárzást illeti. Nem egészen tudom követni, amikor mindig „virtuális”-ként jelöli a sugárzást.¹⁵

Itt kiviláglik Bohrnál mélyebben gyökerező indeterminizmus, de az is, hogy nem csupán az atomokat, hanem – Bohrral szemben – a sugárzást is valóságosnak tekinti. Mindez azonban nem jelenti azt, hogy Schrödinger eleinte ne tudta volna valamilyen mértékben elfogadni Mach módszertani nézeteit. Jóval később ellenben – Planckhoz és Einsteinhez hasonlóan – eltávolodott a machi tudomány-felfogástól. Annál is inkább, mert tanulmányai és katonai szolgálatai befejezése után egészen más jellegű világnézetekkel is megismerkedett. Schopenhauer művein keresztül jut el az indiai filozófiához, a hindu írásokhoz, a védántához (az upanisadokhoz), a buddhizmushoz. Nagyon tetszik neki ezek ateizmusa (a személytelen istenek) és misztikája; élete végéig jelen vannak gondolkodásában az ekkor olvasottak. Míg tudományfilozófiájában két

¹⁵ Schrödinger levele Bohrnak 1924. május 24-én (Bohr 1984:490).

egymással ellentétes hatás, Maché és Boltzmanné keveredett, addig az alapvető metafizikai problémák megoldását rendszerint a védántában találja meg. Az előbbi fizikai tanulmányai és kutatómunkája során sajátította el, az utóbbihoz azonban a fizikának nem sok köze van. Éppen ellenkezőleg: a védántában jelen lévő egység és folytonosság, a némely kommentátoroknál hangsúlyozott hullámvázis lehetett hatással Schrödinger fizikájára. Ez meg is felel a tudomány és a filozófia általa elvárt kapcsolatának:

A metafizikát ténylegesen hatályon kívül helyezve a művészetet és a tudományt csontvázvá csupaszítjuk, így azok a legcsekélyebb fejlődésre is képtelenné válnak. ... A természettudomány szemszögéből a Kant utáni időszak szerfelett nehéz feladata abban áll, hogy az egyes területeken az igaznak tartott tények ábrázolása során a metafizikát korlátainak fokozatos bemutatásával visszaszorítsuk; ugyanakkor meg is tartsuk, mint általános és konkrét megismerésünk nélkülözhetetlen támaszát. ... a metafizika nem része a megismerés épületének, hanem az állványzata, ami nélkül lehetetlen az építkezést folytatni. (Schrödinger 2014, „A metafizikáról általában”:74-75)

Úgy tűnik, ez az állványzat a kvantummechanikát felépítő cikkeiben részben a realizmus lehet. Emiatt kerül szembe felfogása Heisenbergével pl. a diszkontinuitás kérdésében. Schrödinger első kvantummechanikai cikke szerint valamilyen értelemben a mikrovilágra is a folytonosság jellemző:

Aligha szükséges hangsúlyozni, mennyivel szimpatikusabb lenne azt

gondolni, hogy a kvantumátmenetkor az energia a rezgés egyik formájából a másikba megy át, minthogy egy elektron ugrálna. A rezgési forma változása folytonosan mehet végbe a térben és időben ...
(Schrödinger 1928a:10-11)

A mikrovilágban érvényesülő folytonosság a világ egységének egyik megnyilvánulási formája, mely egység a második kvantummechanikai cikknek is egyik vezérlő elve:

E megközelítés erőssége – ha szabad rámutatnom – a vezető fizikai szempontban rejlik, amely hidat ver a makroszkopikus és mikroszkopikus mechanikai folyamatok között, és amely érthetővé teszi az általuk megkívánt, látszólag különböző tárgyalásmódokat.
(Schrödinger 1928b:30)

Az egységre törekvés vezette az osztrák fizikust arra a – kudarcnak bizonyuló – ötletre is, hogy részecskék helyett hullámcsoportokról beszéljen, vagyis hogy a világot kizárólag hullámjelenségekből állónak tételezze. Ezt a gondolatot a második cikkben veti fel, majd a harmadikban (amelynek címe – „A mikro- és makromechanika közötti folytonos átmenet” Schrödinger 1928b:41) – is mutatja felfogását) dolgozza ki. A lételméleti megfontolások (realizmus, objektivitás) és a szemléletesség miatt ragaszkodna is ehhez, de az ellenvetések, a feltároló ellentmondások és a bizonyítás nehézségei miatt kénytelen lemondani róla. A későbbiekben tesz némely engedményeket a Bohr-féle felfogás irányában, de

valójában továbbra is a védikus monizmusban hisz. Úgy tűnik, ez kísért „A kvantummechanika jelenlegi helyzete” (Schrödinger 2014:155-213) c. cikkében is, amelyet Einstein említett 1935-ös írásán felbátorodva jelentetett meg. Ebben az – éppen az ő munkássága nyomán bevezetett – állapotfüggvény mikroszkopikus és makroszkopikus értelmezéseinek ellentmondását feszegeti a híres/hírhedt macska gondolat kísérletben, továbbá a lokalitás-probléma kapcsán felhívja a figyelmet az ún. összefonódott állapotokra, amelyek a mai kvantuminformatikai kutatások középpontjában állnak.

Összegzés

Szemlénk befejezéseként visszatekintünk a kiindulóra: azt állítottuk, hogy – különböző okok miatt – a XX. század elején (de már a XIX. század végén is) tulajdonképpen a nagy filozófiai rendszerek közül csak Kanté állt valamennyire a fizikusok rendelkezésére. Azt látjuk, hogy a kvantummechanikát megalapozó fizikusok – némileg erőltetetten – két csoportba sorolhatók. Az egyik csoport a kolléga Machot követi, aki elveti a szerinte teljesen felesleges kanti magánvalót. Ez a csoport tehát a pozitivista hagyományt folytatja, bár természetesen ilyen jelentős gondolkodók esetén nem beszélhetünk valamiféle szolgálai követésről. Ráadásul a másik csoport tagjait is – legalább ideig-óráig, legalább valamilyen mértékben – megérintette ez a fajta gondolkodásmód. Ha nem csupán a kvantummechanika megalapozásában legnagyobb szerepet játszó, hanem a többi fizikus véleményét is bevonnánk vizsgálataink körébe, akkor még inkább

azt találnánk, hogy ez a megközelítés uralkodóvá vált az adott időszakban (és utána is). A második csoport azonban jelentős részben ki tudta vonni magát ez alól a hatás alól. Ha az esetükben is Kantból indulnánk ki, akkor legjellemzőbben Planckra tudnánk hivatkozni, aki nem veti el a magánvalót, hanem valahogyan – és éppen a fizika segítségével – megpróbál kapcsolatot teremteni Kant két világa között. Ezt egyfajta realizmusra törekvésként tudnánk jellemezni, és talán ez hozza össze az egyébként még az elsónél is szerteágazóbb nézetekkel rendelkező második csoportot.

Irodalom

Banks, Erik C.. 2003. *Ernst Mach's World Elements. A Study in Natural Philosophy*. Dordrecht: Springer Science.

Beller, M.. 1985. Pascual Jordan s influence on the discovery of Heisenberg's indeterminacy principle. *Archive for the History of Exact Sciences* **33** 337-349.

Blackmore, John T. 1972. *Ernst Mach: His Work, Life, and Influence*. Berkeley: University of California Press.

Bohr, N. 1984. *Collected Works* **5**. Amsterdam: North-Holland.

Born, M.. 1973. *Válogatott tanulmányok*. Nobel előadás. Budapest: Gondolat.

Brush, Stephen G. 2003. *The Kinetic Theory of Gases*. London: Imperial College

Press.

Cohen, Robert S. and Seeger, Raymond J. (eds.) 1970. *Ernst Mach: Physicist and Philosopher*. Dordrecht: Reidel.

Cohen, Robert S. and Wartofsky, Marx W. (eds.) 1984. *Hegel and the Sciences*. Dordrecht: Reidel.

Comte, August. 1979. *A pozitív szellem*. Budapest: Magyar Helikon.

Einstein, A. 1905. Die von der Molekularkinetischen Theorie der Wärme Geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten Suspendierten Teilchen, *Ann. Phys.* 17, 549–560.

de Broglie, Louis. 1968. *Válogatott tanulmányok*. Budapest: Gondolat.

de Broglie, Louis . 1973. The Beginnings of Wave Mechanics. in: Price, W. C.-Chissick, S. S.-Ravensdale, T. (eds.) *Wave Mechanics. The First Fifty Years*. London: Butterworth.

Einstein, Albert. 2005. *Válogatott írásai*. Budapest: Typotex.

Enz, Ch. P. 1973. W. Pauli's scientific work. in J. Mehra (ed.): *The Physicist's Conception of Nature*. Dordrecht: Reidel.

Folse, Henry J.. 1985. *The Philosophy of Niels Bohr*. Amsterdam: North-Holland.

Frank, Philipp. 1947. *Einstein. His Life and Times*. New York: Knopf.

Heisenberg, Werner. [1925] 1971. *Zeitschrift für Physik* **33** 679. Idézve a szerk.: Jánossy L. *Kvantummechanika* c. cikkgyűjteményből. Budapest: Akadémiai Kiadó.

Heisenberg, Werner. [1926] 1971 *Zs. f. Phys.* **43** 172. Idézve a szerk.: Jánossy L. *Kvantummechanika* c. cikkgyűjteményből. Budapest: Akadémiai Kiadó.

Heisenberg, Werner. 1975. *A rész és az egész. Beszélgetések az atomfizikáról.* Budapest: Gondolat.

Holton, Gerald and Brush, Stephen G. 2001. *Physics, the Human Adventure.* New Brunswick: Rutgers University Press.

Jammer, Max. 1966. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics.* New York: McGraw-Hill.

Jordan, P. 1927. Philosophical Foundations of Quantum Theory. *Nature* **119** 566-569.

Laurikainen, K. V.. 1983. felolvasott előadása, 7th International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Salzburg, Austria, July 11-16 1983, kivonata: *Abstracts of Sections 8 and 9.*

Mach, Ernst Dr. [1889] 1919. *Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt.* Leipzig: Brockhaus. Angolul: Dr. Ernst Mach: *The Science of Mechanics. A critical and historical account of its development.* Fourth edition. Chicago, London: Open Court.

Mach, E.. 1896. *Die Prinzipien der Wärmelehre: historisch-kritisch Entwickelt.*

Leipzig: Barth.

Mach, E. Dr. 1927. *Az érzetek elemzése*. Ford.: Erdős Lajos. (Filozófiai Írók Tára. Új sorozat 6. f. Szerk.: Alexander Bernát és Bánóczi József). Budapest: Franklin.

McKinnon, E.. 1977. Heisenberg, Models, and the Rise of Matrix Mechanics. *HSPS* 8

Mehra, J. – Rechenberg, H.. 1982. *The Historical Development of Quantum Theory. Vol. 1. The Quantum Theory of Planck, Einstein, Bohr and Sommerfeld: Its Foundation and the Rise of Its Difficulties 1900-1925. Part 2.* New York, Heidelberg, Berlin: Springer.

Newton, Isaac. 2003 [1686]. *A természetfilozófia matematikai alapjai*. In: Newton: *Válogatott írásai*. Budapest: Typotex.

Perrin, J. 1909. Le Mouvement Brownien et la Réalité Moleculaire. *Ann. Chim. Phys.* **18** 8. Serie, 5–114.

Pinch, T. J. 1977. What Does a Proof Do If It Does Not Prove? in: Mendelsohn, E., Weingart, P. & Whitely, R. D. (eds.) *Sociology of the Sciences. Yearbook 1977*. Dordrecht: Reidel.

Planck, M.. 1926. *Treatise on Thermodynamics*. London: Dover.

Planck, Max. 2003. *Válogatott írásai*. Budapest: Typotex.

Regato, J. A. del. 1981. Niels Bohr. *Int. J. Radiation Oncology, Biology, Physics*

7(4) 510-511.

Rozental, S. (ed.). 1967. *Niels Bohr, His life and work as seen by his friends and colleagues*. Amsterdam: North-Holland.

Schrödinger, E.. 1928a. „Quantisation as a Problem of Proper Values. Part I.” In: *Collected Papers on Wave Mechanics*. London: Blackie & Son.

Schrödinger, E. 1928b. „Quantisation as a Problem of Proper Values. Part II.” In: *Collected Papers ...*

Schrödinger, Antrittsrede des Hrn.. [1929] 1957. *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Physikalisch-mathematische Klasse 1929 C-CII*; idézi: James Murphy: Biographical Introduction, in: Erwin C. Schrödinger: *Science Theory and Man*, New York: Dover.

Schrödinger, Erwin válogatott írásai. 2014. Budapest: Typotex.

Serwer, D.. 1977. Unmechanischer Zwang: Pauli, Heisenberg and the Rejection of the Mechanical Atom, 1923-1925. *HSPS* 8

Simonyi, Károly. 1998. *A fizika kultúrtörténete*, Budapest: Akadémiai Kiadó

Stadler, Friedrich (ed.) 2019. *Ernst Mach – Life, Work, Influence*. Cham: Springer Nature.

Szegedi, Péter. 1974. A fizika és filozófia kapcsolata Machnál. *Filozófiai Közlemények* I: 201-209.

Thärkauf, Max. 1973. *Technische Rundschau* (Bern) 1973. III. 13. s. 1-2.