

Előszó

A XX. század fizikusai közül Einstein mellett – a róla elnevezett egyenlet révén – valószínűleg Schrödinger emlegetik a leggyakrabban. Neve egyetemek és kutatóintézetek százaiban hangzik el napjában többször is. A kvantummechanikával kapcsolatban azonban nemcsak az alapegyenletet nevezték el róla, hanem az elmélet értelmezéseinek egyik próbakövét, a híres-hírhedt „macskagyilkos” gondolatkísérletet, sőt, ő vezette be a kvantumállapotokra vonatkozóan az „összefonódottság” (*Verschänkung*, entanglement) fogalmát is, amely az elmélet értelmezése mellett a mai – a kvantuminformatika megalapozását célzó – kvantumkorrelációs kísérletekben központi szerepet tölt be. Az oszt-rák tudós munkássága azonban túlterjed a fizikán, az életről és a világról alkotott nézetei, ezen belül természetfilozófiája is indokolja, hogy helyet kapjon *Principia Philosophiae Naturalis* sorozatunkban. A kötetünkben közölt írásai alapján az olvasó is megtapasztalhatja páratlan gondolkodói kvalitásait, ahol a páratlan jelzöt kétféle értelemben is használhatjuk: egyrészt a kiválóság, másrészt az egyediség megjelölésére.

Mielött rátérnénk természetfilozófiai jelentőségű írásaira, röviden vázoljuk szerzönk életét és munkásságát, valamint a tevékenységét befolyásoló né-

hány fontosabb körülményt. Schrödinger élete 20 évvel az 1867-es kiegyezés után, a dualista Monarchiában kezdődött, ahol (az osztrák részen viszonylag gyorsan) fejlődött a kapitalizmus, de állandóak voltak a nemzeti/nemzetiségi (pl. német-cseh) konfliktusok és egyre erősebbé vált a Németországgal kötött szövetség. A Monarchia terjeszkedési törekvései a Balkán felé és az Oroszország által is támogatott nagyszerb mozgalom összeütökzése hozzájárult az I. Világháború kitöréséhez 1914-ben. Az elhúzódó háborúban a Monarchia Németország oldalán csak átmeneti sikereket ért el, viszont – a többi hadviselő félhez hasonlóan – egy idő múlva belefáradt a harcokba, amelyek majdnem másfél millió állampolgárának feláldozását követelték meg. A lakosság elégedetlenségének – és részben az orosz forradalom hatásának – következtében 1917 végén, majd 1918 elején Bécsben és más osztrák iparvárosokban (valamint Németországban és Budapesten is) gyűlésekre, hatalmas tüntetésekre és sztrájkokra került sor a béke érdekében. Bár a mozgalmakat leszerelték illetve elfojtották, a lázadás átterjedt a hadsereg bizonyos egységeire is (l. például a flottalázadást Cattaróban, amelyet Horthy vert le). 1918 őszén a Monarchia csapatai az olasz fronton vereséget szenvedtek, felbomlottak; az ország szétesett, megalakult a csehszlovák, majd a szerb-horvát-szlovén állam; Bécsben és Budapesten kitört a forradalom, kikiáltották az osztrák, majd a magyar köztársaságot.

A háború utáni békeszerződés szentesítette a Monarchia helyén megjelenő független államok

megalakulását, így az Osztrák Köztársaság elvesztette többek között tengeri kijáratát is. Korlátozták hadseregének létszámát, jóvátételt írtak elő számára, és megtiltották Németországgal való egyesülését (bár ezt az 1925-ös locarnói szerződés már nem hangsúlyozta: csupán Németország nyugati határait rögzítette, a keletieket nem). A háború utáni gazdasági fellendülés nem oldotta meg a belső társadalmi feszültségeket (l. az 1927-es bécsi munkásfelkelést), a gazdasági világválság után pedig egyre erősebb fasizálódási tendencia jelentkezett pl. a félkatonai Heimwehr szervezet növekvő befolyásának képében. A demokratikus intézmények fokozatosan visszaszorultak, a bal- és jobboldal 1934 eleji összecsapása (amely több ezer halottal járt) után pedig lényegében megszűntek. A következő években az Ausztriával szövetséges Mussolini-féle Olaszország kénytelen volt elismerni, hogy ez a németek felségterülete, így nem volt akadálya annak, hogy 1938-ban a német csapatok – az egyesülésről szóló osztrák népszavazást egy nappal megelőzve – megszállják az országot és a Harmadik Birodalomhoz csatolják. A II. Világháborút tehát Ausztria Ostmark néven Németország részeként élte meg. Az antifasiszta hatalmak azonban az Anschlusst nem ismerték el, Ausztriára a németek által leigázott államként tekintettek, így a háború után megtarthatta határait és jóvátételt sem kellett fizetnie. Az egy évtizedes szövetséges megszállás után az ország 1955-ben visszanyerte szuverenitását, kinyilvánította örökös semlegességét.

Schrödinger azonban nemcsak otthon, hanem 1920-21-ben, majd 1927-33-ban német (a jénai, a stuttgarti, a bresloui, később a berlini)¹, a két időszak között pedig svájci (a zürichi) egyetemen is dolgozott. Svájc az I. Világháborúban megőrizte semlegességét, amit a nagyhatalmak is elismertek, így a Népszövetség – amelybe Svájc is belépett – székhelyéül Genfet választották. Az ország nem csupán elkerülte a pusztítást, hanem tulajdonképpen előnye is származott a háború során és után a bankjaiba áramló vagyonok őrzéséből és kezeléséből. Általában véve is a gazdaságban egyre nagyobb szerepet játszott a szolgáltatási szektor. Az ország a tudományos kutatás számára viszonylag jó és békés körülményeket biztosított. Ugyanez mondható el Írországról is, ahol Schrödinger 1939-től 1956-ig élt. Írország szintén semleges maradt a II. Világháborúban, bár azért néhány városát – köztük Dublint – a németek bombázták, és a tengeri blokádok ellátási nehézségeket okoztak. Teljes függetlenségét 1949-ben nyerte el, de az azután is fennálló vallási nézeteltérések Schrödingert feltehetőleg kevésbé érintették, annál is inkább, mivel vallási kérdésekben a hivatalosan puritán Írország a gyakorlatban inkább megengedőnek bizonyult.

* * *

¹ Hogy ott milyen körülmények voltak, arról röviden írtunk Planck-kötetünkben (Előszó Planck természetfilozófiai írásaihoz, in: *Planck válogatott írásai*, Typotex, Budapest 2003)

Erwin Schrödinger 1887. augusztus 12-én született Bécsben.² Anyai nagyanyja angol (tőle és a rokonoknál való nyári nyaralásból ered a fiú mind szóban, mind írásban kiváló angol stílusa), nagypapa, (a Magyaróvárról származó) Alexander Bauer bécsi műegyetemi kémia professzor volt, akinek három lánya közül a középsőt, Georginát a vegyész egyik tanítványa, a bécsi Rudolf Schrödinger vette feleségül. Az ifjúkorában az olasz festészet iránt érdeklődő – és festegető – Rudolf a kémiaán túl főként növénytant tanult, cikkei jelentek meg növénygenetikából. Családját – feleségét és egyetlen fiát – azonban az apjától örökölt linóleumgyár révén tartotta el. Erwint nagypapa evangélikusként kereszteltette meg (a Bauer család valamilyen kompromisszumként választhatta ezt az egyházat, mert pl. anglikán közösséget nem nagyon találhattak Ausztriában), valószínűleg a katolikus családból származó de a vallást nem gyakorló apa akarata ellenére. A 11 éves kora előtt magántanártól otthon tanuló fiú átlagon felüli képességei már a gimnáziumban megnyilvánulnak: kitűnő tanuló, osztályelső; a matematikán és fizikán kívül eredményesen foglalkozik klasszikus és modern nyelvekkel (az angolon és németen kívül beszél franciául és spanyolul, fordít ógörögből és provanszálból);

² Schrödinger életrajzának részletesebb tanulmányozásához Walter Moore: *A Life of Erwin Schrödinger* (Cambridge University Press, Cambridge 1994) c. könyvét tudjuk ajánlani, szakemberek számára pedig ennek eredeti, bővebb változatát Walter Moore: *Schrödinger: Life and Thought* (Cambridge University Press, Cambridge 1998)

jártasságot szerez az antik kultúrában, a filozófiában, az irodalomban. Apja révén a biológiával is megismerkedett, és darwinianussá vált, dacára annak, hogy ezt a hittanórán eretnekségnek nyilvánították. Járt ugyanis (evangélikus) hittanra is, de apja szkepticizmusa saját tapasztalatai alapján csak megerősödött benne. Inkább egyház-, mint válásellenes volt, a misztika szabadgondolkodóként is kifejezetten vonzotta. Templomban a család kizárólag esküvők és temetések alkalmából jelent meg.

Schrödinger érettségi után 1906-ban a bécsi egyetemre iratkozott be, ahol a Fizikai Intézetben tanult fizikát, matematikát, kémiát és meteorológiát. Boltzmann éppen Schrödinger belépése előtt lett öngyilkos, de szelleme, gondolatmenetei még jelen voltak az oktatásban. „Gondolkodásmódját nevezhetjük első szerelmemnek a tudomány területén. Soha semmi nem ragadott meg ennnyire, és már nem is fog.”³ Így például Schrödinger nem a kvantummechanikával kapcsolatban ismerkedett meg az indeterminizmussal (akauzalizmussal), hanem a statisztikus folyamatoknak azon a szemléletén át, amelyet elsősorban Fritz Hasenöhrl, Boltzmann utódja az Elméleti Fizika Tanszéken és Franz Exner, a Kísérleti Fizika Intézet igazgatója közvetített felé. Hasenöhrl nyolcszemeszteres (heti öt órás) elméleti fizika előadása-

³ Antrittsrede des Hrn. Schrödinger. *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*, Dover, New York 1957. xiv. old.

iból tanulta meg a Hamilton-formalizmust és a sajátérték-problémákat, amelyek oly fontos szerepet játszottak azután a kvantummechanikát megalapozó munkásságában. Boltzmann tiszta és világos gondolatmeneteinek rekapitulációit hallgatva az ifjú tudósnövendék eleinte azonban idegenkedett az atomfizika ellentmondásaitól, ezért kísérleti fizika tanárai, Exner és Fritz Kohlrausch hatására színelmélettel kezdett foglalkozni.

1910-ben védte meg disszertációját a szigetelők felületi vezetőképességéről párás levegőben – ez a kísérleti munka a radioaktivitás és ionizáció mérésehez kapcsolódott. Egy éves krakkói tüzer tisztítási képzés után Exner a tanszékére hívta tanársegédnek. A tanítás mellett tanulmányokat publikált a mágnesség, a dielektrikumok, a légköri akusztika, a radioaktivitás, a röntgensugárzás és a Brown-mozgás témaköreiből.⁴ Nem állt távol tőle a kísérletezés, a mérés, de fokozatosan rájött, hogy igazi világa az elmélet. Ezekben az években – de már hallgató korában is – tanúja volt az egyetemen a Mach- és a Boltzmann-féle felfogás éles vitájának. Mach pozitivizmusa és gondolkodásökönómiaja nem engedte meg az atomok létének elfo-

⁴ Előszavunkban Schrödinger szokatlanul kiterjedt munkásságából csak a természetfilozófiai szempontból legfontosabb kvantummechanikai cikkeit tudjuk valamennyire is érinteni, a többi legfeljebb az említés erejéig. Aki azonban ezek iránt is érdeklődik, annak William T. Scott: *Erwin Schrödinger. An Introduction to His Writings*, University of Massachusetts Press, Amherst 1967 c. könyvét tudjuk ajánlani, amely tematikus fejezetekben tárgyalja az egész életművet.

gadasát, míg Boltzmann kifejezetten atomista volt, és erre alapozta a fizika (és ezen belül elsősorban a termodinamika második főtételének) statisztikus értelmezését. E háború egyik csatáját az a Planck vívta meg Mach és követői ellenében, aki eleinte idegenkedett Boltzmann felfogásától, de azután – a hőmérsékleti sugárzás problémájának megoldása során – kénytelen volt a pártjára állni.⁵ Schrödinger cikkeiben a Boltzmann-féle atomizmusból indult ki, akkor is, ha a mágnességről értekezett, akkor is, ha rugalmasan csatolt pontrendszerekről írt, és persze akkor is, ha a korábbi Boltzmann-tanítvány Marian Smoluchowski Brown-mozgás tanulmányait folytatta.⁶ Ez azonban sem számára, sem kollégái számára nem jelentette azt, hogy ne tudták volna valamilyen mértékben elfogadni Mach módszertani nézeteit. Érettebb korára azután – Planckhoz és Einsteinhez hasonlóan – eltávolodott a machi tudomány-felfogástól.⁷

⁵ L. pl. *Principia Philosophiae Naturalis* sorozatunkban Max Planck: A fizikai világkép egysége c. előadásának III. részében Boltzmann munkásságának ismertetését, valamint IV. részében Mach kritikáját, illetve az előszó erről szóló részét. In: *Planck válogatott írásai* 92–99., 103–109. ill. 27–32. old.

⁶ L. Dieter Flamm: Boltzmann's Influence on Schrödinger, in: C. W. Kilmister (ed.): *Schrödinger. Centenary Celebration of a Polymath*. Cambridge University Press, Cambridge 2008. 4–16. old.

⁷ Mint látható, feltételezünk bizonyos változásokat Schrödinger tudományfilozófiájában. Nem célunk azonban itt ennek részletes bizonyítása. Ez annál is inkább meghaladná az előszó kereteit, mert realizmusának, machizmusának stb. mértékéről távolról sincs egyetértés a tudománytörténészek és -filozófusok

Schrödinger 1914 elején kisebb nehézségekkel habilitált (elméleti cikkeit adta be, amelyek – bár matematikailag kifinomultak és elegánsak voltak – némileg nélkülöztek a realitással való kapcsolatot; másrészt volt, aki kevesellte kutatómunkáját és életkorát), majd a háború kitörésével behívták, és a déli határ erődjeibe került tüzérsztként. 1915-ben egy ideig Komáromban is szolgált. Aránylag nyugalomban vészelté át a háborús eseményeket, sőt még kutatómunkát is tudott végezni közben, publikációi jelentek meg az említett témákból, de ekkor ismerkedett meg az általános relativitás elméletével is. Súlyosan érintette viszont, hogy Hasenöhrl el-esett a harcokban. 1917-ben Bécsújhelyen meteorológiát tanít légvédelmi tiszteknek, de a következő év végétől a hadsereg már nem tart igényt szolgálataira. Közben apja gyára bezárt, kereset után kellett néznie. Arról volt szó, hogy a Monarchia távoli tartományába, Bukovinába, az 1875-ben alapított német nyelvű – a fiatal, és ezért a bécsi vagy hasonló egyetemeken álláshoz nem nagyon jutó kutatók számára kiváló ugródeszkrét jelentő – csernovici

között. A vita leglényegesebb pontjait, illetve egy köztesnek mondható megoldást illetően l. pl.: Henk W. de Regt: Erwin Schrödinger, Anschaulichkeit, and Quantum Theory. *Studies in the History and Philosophy of Modern Physics* bf 28 (4) 1997, 461–481. old.; vannak továbbá érvek amellet is, hogy álláspontja valójában nem változott meg az idők folyamán: Yemima Ben-Menahem: Struggling with Causality: Schrödinger's Case, uo. 20 (3) 1989 307–334. old. vagy Miguel Ferrero Melgar: The Philosophy of Erwin Schrödinger: A Diachronic View of Schrödinger's Thoughts, *Foundations of Physics* 18 (3) 1988 357–371. old.

egyetemre megy tanszékvezetőnek, ahol a fizikán kívül filozófiával is szeretett volna foglalkozni (Spinoza, Schopenhauer, Mach – akit a tüzéségi szolgálat alatt olvasott – és Avenarius szerepel a tervei között⁸). A birodalom szétesésével azonban a város Romániához (ma Ukrajna) került.

Így Bécsben marad, ahol bizonyára megfelelő volt a hangulat a pesszimista Schopenhauer összes művének elolvasásához. Ezeken keresztül jut el az indiai filozófiához, a hindu írásokhoz, a védántához⁹ (az upanisadokhoz), a buddhizmushoz. Nagyon tetszik neki ezek ateizmusa (a személytelen istenek) és misztikája, élete végéig jelen vannak gondolkodásában az ekkor olvasottak. A fizikában – kollégái és Mach érzetfilozófiája által motiváltan – elsősorban a színlátást tanulmányozza, amely témában rövid idő alatt a világ élvonalába dolgozza magát (pl. ő alkotta meg az ideális szín fogalmát). Közben azért a fény kettős természetével, a gázok elméletével, szilárdtestfizikával, a kristályrácsok dinamikájával is foglalkozik, aminek eredményeként állást ajánlanak neki. Ezt azonban nem tudja elfogadni, mert menyasszonya, Annamarie Bertel titkárnőként havonta keres annyit, mint amit neki

⁸ Erwin Schrödinger: Vorwort, in: *Meine Weltansicht*, Zsolnay, Hamburg 1961. 8. old.

⁹ A védánta a hindu filozófiai hagyományok központi, a mai iskolák alapját is képező rendszere. Tanának legfontosabb elemei a személyes (Átman) és az egyetemes (Brahman) lélek azonossága, valamint a lélekvándorlás. Szövegszerűen elsősorban az upanisadokra támaszkodik, amelyek az eredeti Védákhoz fűzött legrégebbi, viszonylag terjedelmes kommentárok.

egy évre ajánlanak, ezért aztán nem tudná elartani őt. Inkább egy jénai meghívásnak tesz eleget, így össze tudnak házasodni (először egy katolikus, majd egy evangélikus templomban). A házastársak a későbbiekben is kitartanak egymás mellett, de házasságuk nyitottá válik. Schrödingernek Max Wien (Wilhelm Wien testvére) Fizikai Intézetében azonban csak ideiglenes állása van, ezért fél év múlva már Stuttgartban találjuk, ahol a műegyetemen egy a mai docensi beosztásnak megfelelő állandó állást kap (itt egyik kollégája a matematikus-fizikus-filozófus, Hans Reichenbach). Újabb fél év múlva – több más ajánlat visszautasítása után – Breslauban (ma Wrocław) rendes professzor.

Már előbb pályázott a korábban Einstein majd Laue vezetése alatt álló zürichi tanszékre, de az egyetem csak 1921 közepén hozta meg kedvező döntését. Ősztől hat éven át az elméleti fizika tanára Zürichben, ahol kollégái (valójában nem az egyetemen, hanem az ETH-n) a matematikus Hermann Weyl és a fizikus-vegyész Peter Debye. Továbbra is több témakör foglalkoztatja, így az általános relativitáselmélet, a dielektrikumok elmélete, a színlátás kérdései, de végül aztán az ideális gázok statisztikus termodinamikájával kapcsolatos munkája során nem tudja elkerülni a – Stuttgartban már tanulmányozott – atomelmélet problémáit sem. Már ekkor tetten érhetők későbbi sajátos kvantummechanika értelmezésének és Bohréktől eltérő szemléletének nyomai. Bohr Kramers-szel és Slaterrel 1924-ben közösen írt cikkükben inkább feltételezte, hogy az anyag és sugárzás atomi szintű

kölcsönhatásában az energia (és az impulzus) nem marad meg, az oksági elv nem érvényes, csak hogy ne kelljen a kisugárzás és elnyelés kvantáltságából a sugárzás kvantáltságára következtetnie: „Ami a kvantumelmélet lényeges vonását képező átmenetek végbemenetelét illeti, letecsünk minden kísérletezésről a távoli atomokban végbemenő átmenetek közötti kauzális kapcsolatokkal, és különösen az energia- és impulzus-megmaradási elvek közvetlen alkalmazásával, amely oly jellemző a klasszikus elméletekre. ... Az egymástól nagyobb távolságra levő atomok közötti kölcsönhatással kapcsolatban ... feltételezzük az egyes átmeneti folyamatok függetlenségét, ami éles ellentétben áll az energia- és impulzus-megmaradás klasszikus igényével. Így feltesszük, hogy egy indukált atomi átmenetet nem közvetlenül egy távoli atomban végbemenő átmenet okoz, amelyre a kezdeti és végső stacionárius állapot közötti energiakülönbség azonos. ... Ez a függetlenség nemcsak az energia-megmaradást redukálja statisztikus törvénnyé, hanem az impulzus-megmaradást is.”¹⁰ A cikkre Schrödinger először levélben reagált: „Mélyen Tisztelt Bohr Úr! 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 „szabályszerű-

¹⁰ Bohr N.; Kramers, H. A.; Slater, J. C.: The quantum theory of radiation. *Phil. Mag.* 47 1924. 791–793. old.

ség', hanem talán a 'tisztá véletlen', és hogy talán még az energia- és impulzustörvényeknek is csak statisztikus érvényességük lehet... . Az Ön új szempontja a klasszikus elmélethez való messzire vezető visszatérést jelenti, ami a sugárzást illeti. Nem egészen tudom követni, amikor mindig 'virtuális'-ként jelöli a sugárzást."¹¹

Schrödinger nemsokára egy cikket is írt az elméletről¹², amelyben üdvözi az akauzális világ első kézzelfogható megjelenését és a fénykvantumhipotézis elvetését. Kiütözik azonban eltérő véleménye a sugárzás (később a hullámok) természetével kapcsolatban: ezeket a dánnal szemben ő valóságosnak (nem pedig virtuálisnak) tekinti. A másik fontos különbség az indeterminizmus-felfogásukban van. Míg Bohr esetében ez inkább filozófiai, pozitivista kényszer-indeterminizmus, addig az osztrák fizikus számára a statisztika – (Boltzmann és) Exner nyomán – fizikai természetű, azaz például ha az energiamegmaradás törvényének sérüléséről, statisztikus jellegéről olvas, akkor azonnal a fluktuációkat kezdi számon kérni. Érdekes módon, az egyébként támogató cikknek ez a felvetése (amelyhez hasonlót Einstein is megfogalmazott) váltotta ki Bohr első kételyeit a saját elméletét illetően. Schrödinger cikkét a következőkép-

¹¹ Schrödinger levele Bohrnak 1924. május 24-én, in: Bohr, N.: *Collected Works* 5, North-Holland, Amsterdam 1984. 490. old.

¹² E. Schrödinger: Bohrs neue Strahlungshypothese und der Energiesatz, *Naturwiss.* 12 1924. 720-724. old.

pen fejezi be: „... a világ eseményeinek bizonyos stabilitása *sub specie aeternitatis* csak az egyes elkülönült rendszereknek a világ összes többi részével való *kapcsolatán* keresztül létezhet. Az egység szempontjából az elkülönült egyetlen rendszer kaotikus lenne. Ezt a kapcsolatot mint folyamatos *szabályzót* kívánja meg, amely nélkül energiája véletlenszerűen ide-oda kószalna.”

1925-ben Schrödinger 38 éves. Kis könyvecskére való filozófiai gondolatait szedi össze *Világnézetem* címmel. Ehhez – más fizikusokkal összehasonlítva – még túl fiatalnak tűnik. Nem is publikálja a 10 fejezetet, csak jóval később. A műben felvetett metafizikai problémák megoldását leginkább a védántában találja meg. A keleti bölcsélet közép-pontba állításának motivációit valószínűleg a háborús élményekben, a háború utáni körülményekben (éhség, fagyoskodás stb.), a Nyugat feltételezett alkonyában (Spengler könyve 1918-ban jelent meg), szülei halálában, tüdőbetegségében, házasságának válságában (a gyermek hiányában) lelhetjük fel. A fizika ehhez nem igazán járult hozzá (tudományfilozófiájában ekkor is a két egymással ellentétes hatás, Boltzmanné és Maché keveredett). Éppen ellenkezőleg: a védántában jelen lévő egység és folytonosság, a némely kommentátoroknál hangsúlyozott hullámmás lehetett hatással Schrödinger fizikájára. Maga is inkább ezt a fajta kapcsolatot várja el a tudomány és a metafizika között. A könyv nemcsak a fizikát, hanem a biológiát is érinti, ami tükrözi szerzőjének az evolúció és az öröklés (világnézeti jellegű) problémái iránti érdeklődését. Míg fi-

lozófiai tapasztalatainak összefoglalásához fiatalnak mondható, ahhoz viszont túl öregnek, hogy most lásson neki élete fő elméleti fizikai művének. Persze eddig is sokat tett le az asztalra, válogathat az állásajánlatok közül (de marad Zürichben). Az időnként betegeskedő, sokszor hetekig-hónapokig szabadságon lévő fizikus előtt egy olyan intenzitású év áll, amely nemcsak az ő életében, hanem a tudománytörténetben is párját ritkítja.

Ősszel Debye azt javasolja neki, hogy a két intézmény közös szemináriumán ismertesse Louis de Broglie előző évben megvédett disszertációját. Az ebben található gondolatokat – nevezetesen, hogy az elektron hullámtulajdonsággal is rendelkezik, továbbá, hogy a geometriai optika Fermat-elve és a hullámoptika viszonyával analóg módon a klasszikus mechanika legkisebb hatás elvéhez is kell tartoznia egy elméletnek, amely beszámol az elektron dinamikájáról – nem sokan vették komolyan azok közül, akiknek de Broglie (és témavezetője, Langevin) elküldte. Einstein a kevés kivétel közé tartozott, de ő maga nem akart részletesen foglalkozni a dologgal (egyszerűen elfogadta a részecskék hullámtermészetét egy gázelméleti cikkében), ezért kérte meg Debye-t a véleménynyilvánításra, aki viszont nem nagyon értette a disszertációt. Így kerülhetett a dolgozat Schrödingerhez, aki egyrészt sokkal kevésbé viselkedett előítéletekkel de Broglie-val szemben, mint a Koppenhága–Göttingen–München-vonal (a francia fizikusnak az utóbbiakkal való összeütközéseire csak egyetlen példa a hafniummal kapcsolatos

prioritás-vita Dauviller és de Broglie illetve Hevesy, Coster és Bohr között); másrészt – mint jegyzetfüzetei tanúsítják – néhány évvel korábban talán még részletesebben foglalkozott az optikai-mechanikai analógiával, mint maga de Broglie. Egy harmadik tényező, amely miatt pont Schrödinger lehetett de Broglie elméletének továbbfejlesztője, az volt, hogy a relativitáselmélet és a kvantumfeltételek kapcsolatát vizsgálva még 1922-ben fogalmilag és formálisan is igen közel jutott a fázishullámokhoz.¹³ Így aztán az osztrák fizikus hajlandó volt tanulmányozni de Broglie elméletét és be is számolt róla. Debye az előadás után megjegyezte, hogy ha hullámokról van szó, akkor hullámegyenletnek is kellene lennie. Néhány hét múlva a szemináriumon Schrödinger bejelentette, hogy talált ilyen egyenletet. Ezt azonban nem publikálta, mert tovább szeretett volna lépni egy relativisztikus egyenlet felé. Próbálkozásai sikertelenek voltak (úgy tűnik, rátalált ugyan a relativisztikus Klein–Gordon-egyenletre, de azt a hidrogénatomra alkalmazva az eredmények nem látszottak megfelelőnek, ugyanis a spint – amellyel ebben az időben éppen csak hogy elkezdtek foglalkozni – nem tartalmazta¹⁴), ezért

¹³ Részletesebben ezekről a tényezőkről l. pl.: V. V. Raman és Paul Forman: Why Was It Schrödinger Who Developed de Broglie's Ideas? *Historical Studies in the Physical Sciences* I 1969. 291–303. old.

¹⁴ Ez a felfedezés történetének egyik legrosszabbul dokumentált része. A meglévő forrásokat és az ezek alapján kialakított elméleteket l. pl. Helge Kragh: On the History of Early Wave Mechanics, with special emphasis on the role of relati-

visszatért a nem-relativisztikus tárgyaláshoz.

1926 januárjától fél év alatt öt cikket küldött be az *Annalen der Physik*nek és egyet a *Die Naturwissenschaften*nak, amelyekkel meglepő módon Heisenbergtól teljesen függetlenül, hozzá semmilyen módon nem kapcsolódva, kis késéssel megalapozza a kvantummechanikát.¹⁵ „Elméletem kidolgozására az ösztönzést L. de Broglie disszertációja ... és A. Einstein rövid, de végtelenül messzire tekintő megjegyzései adták ... Nem tudok arról, hogy elméletem Heisenbergével bármiféle genetikus kapcsolatban állna. Elméletéről természetesen tudomásom volt, az azonban a transzcendens algebra igen nehézkesnek látszó módszerei és a szemléletesség hiánya folytán elriasztó, hogy azt ne mondjam: visszaszítító hatást tett rám.”¹⁶ A cikkek többsége a „A kvantálás mint sajátérték-probléma” címet viselte,

vity, *TEXTER fra IMFUEA, Roskilde Universitetscenter, Text Nr 23*, 1979.

¹⁵ Erről a fizika szempontjából nagyon fontos történetről itt természetesen csak vázlatyszerűen tudunk beszámolni. A lehető legrészletesebben foglalkozik a kérdéssel Jagdish Mehra-Helmut Rechenberg: *The Historical Development of Quantum Theory Vol. 5. Erwin Schrödinger and the Rise of Wave Mechanics*. Springer, New York 1987, beleértve például a bécsi kulturális élet bemutatását, Schrödinger korai cikkeinek elemzését vagy a zürichi kollegáknak a de Broglie cikk vándorútjáról szóló – némileg eltérő – visszaemlékezéseit stb. Egy koncentráltabb összefoglaló pl. Linda Wessels: Schrödinger's Route to Wave Mechanics, *Studies in History and Philosophy of Science* 10 1979 311-340. old.

¹⁶ Erwin Schrödinger: A Heisenberg-Born-Jordan-féle kvantummechanika viszonya az enyémhez, I. kötetünkben (4. lábjegyzet.)

matematikájuk kidolgozásához Weyltől kapott segítséget (rajta kívül legtöbbször Courant-Hilbert: *A matematikai fizika módszerei* c. nem sokkal korábban megjelent könyvére hivatkozik). Az egyes cikkek befejezésekor a következő tartalma többnyire még nem alakult ki. Az első cikkben a hullámegyenlet segítségével a hidrogénatomot tárgyalja, de nem a szokásos – kívülről bevitt, mesterkéltné – kvantumfeltételekkel, hanem a Hamilton-Jacobi formalizmust alkalmazva. Bevezeti az egyelőre ismeretlen Ψ függvényt (hamarosan a hullámfüggvény nevet fogja viselni; ebben a pillanatban Schrödinger felhasználásában egy atomon belüli állóhullám-szerű jelenség képviselője) és egy hatás-dimenziójú állandót. Így egy variációs probléma megoldását keresi, amelyből a kvantumfeltételek olyan természetesen adódnak, mint egy rezgő húr nódusai. Már ennek a cikknek a végén megjegyzi, hogy az atomi rezgések folytonosan mennek át egymásba a fény kibocsátásakor (tehát nincsenek – későbbi kifejezéssel – kvantumugrások): „Aligha szükséges hangsúlyozni, mennyivel szimpatikusabb lenne azt gondolni, hogy a kvantumátmenetkor az energia a rezgés egyik formájából a másikba megy át, mint-hogy egy elektron ugrálna. A rezgési forma változása folytonosan mehet végbe a térben és időben ...”. Ez a szemlélet lényegesen eltér Heisenbergétől.¹⁷ A második cikkben e különbségre

¹⁷ Schrödinger cikkeit kifejezetten e szembenállás szempontjából elemzi: Michelangelo De Maria. Francesco La Teana: Schrödinger's and Dirac's Unorthodoxy in Quantum Mecha-

közvetlenül is rámutat, amikor a saját elméletéről a következőképpen ír: „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.” E cikkben először a de Broglie által középpontba állított (mechanika-optika) analógiákat elemzi, majd erre alapozza a hullámmechanikát és a differenciáloperátorokkal felírt Schrödinger-egyenletet. Végül utóbbit alkalmazza az oszcillátor és a rotátor (kétatomos molekula) problémájára. Ebben a cikkben esik szó először arról, hogy a Ψ a fázistéren értelmezett függvény, és hogy a részecskék, részecskepályák helyett hullámcsoportokról kell beszélni. A harmadik cikket a *Naturwissenschaft*-ben közölte „A mikro- és makromechanika közötti folytonos átmenet” címmel. Ebben azt próbálja belátni, hogy a rezgések egy csoportja (hullámcsomag) képes egy részecske viselkedését reprezentálni. Lorentz levélben mutatott rá, hogy a hullámcsomagok szétfolyhatnak az idő múlásával. Schrödinger ettől kezdve a részecskék tagadását nem tekinti elmélete szükségzerű velejárójának, de az ontológia és a szemléletes modell érdekében nem szívesen mond le róla. A negyedik cikk megint az *Annalen*-ben jelenik meg „A Heisenberg–Born–Jordan-féle kvantummechanika viszonya az enyémhez” címmel. Ebben a szerző – a kiindulópontok és a fogalmak radikál-

tics, *Fundamenta Scientiae* 3 (2) 1982 129-148. old.

lis különbözősége ellenére – kimutatja a korábban napvilágot látott Heisenberg-féle kvantummechanika (mátrixmechanika) és a saját hullámmechanikája közötti matematikai ekvivalenciát.¹⁸ Hozzá kell tennünk, hogy Schrödinger a matematikai ekvivalenciát nem azonosította a fizikai ekvivalenciával. Ekkor már – a korábbiaktól némileg eltérően¹⁹ – azt gondolja, hogy az atomi folyamatokat nem a Ψ hullámfüggvény, hanem az abból képzett $-e\Psi\Psi^*$ szorzat írja le, amely megadja az elektromos töltéssűrűséget. Az ötödik cikk az első kettő folytatása; a bonyolultabb rendszerekre az egyszerűbbek perturbációjával nyerhető közelítő megoldásokkal foglalkozik, és így számítja ki a hidrogén Balmer-féle vonalainak felhasadását elektromos térben (Stark-effektus). Ez az új elmélet első komoly alkalmazása. A hatodik cikkben írja fel először az időfüggő Schrödinger-egyenletet és tudatosítja,

¹⁸ Meg kell jegyeznünk, hogy eredetileg Sommerfeld vetette fel Schrödingernek a két elmélet esetleges kapcsolatát. Az oszt-rák fizikus hetekig dolgozott a problémán, majd – eredmények híján – feladta. A megoldáshoz a lökést valószínűleg egy ismeretlen, Frankfurtban dolgozó fizikus, Lánzos Kornél első kvantummechanikai cikkének megjelenése adta. A magyar, aki egyetlen Born–Jordan-cikket olvasott a témakörben, bebizonyította, hogy mátrix-egyenleteik egy-egy értelműen megfeleltethetők lineáris integrál-egyenleteknek.

¹⁹ Ahogy általános tudományfilozófiai felfogásáról, így Schrödinger kvantummechanika értelmezéséről, illetve annak történeti alakulásáról is viták folytak. Egy ilyen elemzés pl. Michel Bitbol: Introduction, in: Erwin Schrödinger: *The Interpretation of Quantum Mechanics*, Ox Bow Press, Woodbridge 1995. 1-18. old.

hogy a hullámfüggvény megkerülhetetlenül komplex értékű. Ezek a cikkek – esetenként más kvantummechanikai témájúakkal kiegészítve – a következő években kötetben is megjelentek németül, angolul, japánul, franciául és spanyolul.

A hullámmechanika megalkotását követő hetekben-hónapokban számos fizikus (Langevin, Pauli, Sommerfeld stb.) látogatott el Zürichbe, hogy megismerkedhessen az elmélettel és megvitassa azt. Ugyanezen célból az osztrák fizikus meghívásokat kapott különböző külföldi városokba (Berlin, München, Koppenhága, az USA több városa stb.), ahol találkozhatott kora vezető fizikusaival (Bohr, Born, Heisenberg, Lorentz, Millikan, Planck, Wien stb.). A Schrödinger-féle differenciálegyenleteken alapuló hullámmechanika sokkal kezelhetőbbnek bizonyult, mint Heisenberg mátrixmechanikája, így a kvantummechanika tulajdonképpen Schrödinger elméletével vált igazán elfogadott és sikeres tudománnyá, mind az idősebb, mind a fiatalabb fizikusok körében. „Ez a mai kvantummechanika szemléletes alapját szolgáltatta, és úgy látszik, ugyanazt a szerepet játssza a kvantummechanikában, mint a Newton-, a Lagrange- vagy a Hamilton-egyenletek a klasszikus mechanikában.”²⁰ Schrödinger munkájának másik nagy érdeme – akár örült ennek, akár nem –, hogy az ő reprezentációjában vált lehetővé a „fizikai állapot” leírása. Sajátos interpretációjának – amelyben az elektromágneses hullámok-

²⁰ Max Planck: Az új fizika világgépe, in: *Planck válogatott írásai* 125. old.

hoz hasonlóan elképzelt anyaghullámokról, sűrűség-hullámokról beszélt – azonban nem volt sok követője. Bár ez az elképzelés realista, objektív és – ami valószínűleg a legfontosabb volt számára – szemléletes lehetett volna, súlyos problémákkal kellett szembenéznie: több részecske esetén az anyag-hullám dimenzióinak száma meghaladja a szokásos 3 dimenziót; az anyag hullámtulajdonságait jól megragadja, de a részecsketulajdonságokat nehezen, és így tovább. Így Bohr, Born, Heisenberg és a többiek azzal kárpótolhatták magukat a mátrixmechanika formalizmusának háttérbe szorításáért az általuk megnyitott és sajátjuknak tartott területen, hogy ebben az időszakban a hullámfüggvény Born-féle valószínűségi értelmezése, a Heisenberg-féle határozatlansági reláció és Bohr komplementaritási elve alapján kifejleszthették az ún. koppenhágai interpretációt, és ezzel megtarthatták tekintélyüket valamint a kvantummechanika terjesztésében játszott alapvető szerepüket. Ehhez persze az is hozzájárulhatott, hogy Schrödinger (és a lehetséges más versenytársak közül de Broglie vagy bizonyos értelemben Einstein is) lényegében magányos, iskolához nem tartozó tudós volt, míg Bohr már Rutherfordnál dolgozva elsajátíthatta a tudományos közösségben való működést. Nem mellesleg Bohrt a Rockefeller Alapítvány is segítette, ami sokkal szélesebb körű nemzetközi kapcsolatot tett lehetővé számára.

1927-ben – amerikai és európai állásajánlatokat visszautasítva – Schrödinger elfogadta a berlini egyetem meghívását és átvette a nyugdíjba vonuló

Planck elméleti fizikai intézetét. Ekkor került szorosabb kapcsolatba a hatáskvantum felfedezőjével, továbbá Laue-val és Einsteinnel. E csoport tagjai – nem teljesen azonos okokból – nem fogadták el a kvantummechanika koppenhágai interpretációját. Ez is hozzájárult, ahhoz, hogy hősünk tovább folytatta kutatásait az elmélet alapjaira, a relativitáselmélettel való kapcsolatára és egy fogalmi (tehát nem kizárólag matematikai) modelljének kialakítására vonatkozóan. E munka egyik terméke például a *Zitterbewegung* (a relativisztikus szabad elektron rezgőmozgása) felfedezése, amelyre a Dirac-egyenlet hullámcsomagos megoldásainak vizsgálata során jutott 1930-ban. Egy másik felismerése ugyanekkor a hullámmechanika alapegyenletének illetve a hővezetési- és diffúziós egyenleteknek a hasonlósága, amelyet azután 20 évvel később Fényes Imre aknázott ki a kvantummechanika sztochasztikus értelmezésében. Közben (természet)filozófiai, fizika-filozófiai, ismeretelméleti esszéket ír, amelyeket *Science and the Human Temperament* (később *Science Theory and Man*) címmel foglal kötetbe. A kvantummechanikáról alkotott véleménye valamennyire közeledik Bohréhoz, többnyire továbbra is realista, feltételezi a fizikai objektumok létezését, de azt gondolja, hogy a hullámfüggvény nem a valóságot írja le, hanem a róla szerzett tudásunkat. Az objektum és szubjektum e felfogás mögötti elválasztása azonban valószínűleg csak ideiglenes és/vagy felszínes: továbbra is mélyen hisz a védikus monizmusban.

1933-ban, a fasiszta hatalomátvétel után – minden előzetes figyelmeztetés nélkül, a berlini egyetemet csak utólag értesítve – elhagyta Németországot, az oxfordi egyetemre ment. Schrödinger nyilvánosan – a többi német nem-zsidó professzorhoz hasonlóan – sohasem bírálta a rezsimet, de nem titkolta náciellenességét. Atrocitások nem érték (kivéve, amikor a március 31-i pogrom idején éppen egy zsidó áruház előtt ment el, és leszidott egy randalírozó rohamosztagost; ekkor egy véletlenül jelenlévő náci tanítványa mentette ki), valószínűleg át tudta volna vészelni a következő éveket. Ebben az évben kapta meg sokszori jelölés után – Dirac-kal megosztva – a fizikai Nobel-díjat „az atomelmélet új és gyümölcsöző megfogalmazásának megalkotásáért”. 1934-ben lánya született Hilde Marchtól. Hilde Arthur March fizikus felesége volt, aki egy ideig Schrödinger asszisztenseként dolgozott. Ettől kezdve Schrödinger lényegében feleségével és Hilde-vel együtt élt Oxfordban (de még jóval később Dublinben is), a két nő közösen nevelte Ruth-t, aki csak 17 évesen tudta meg, hogy ki is az apja. 1935-ben jelent meg Einstein, Podolsky és Rosen: *Teljesnek tekinthető-e a fizikai valóság kvantummechanikai leírása?* c. cikke²¹, amely az állapotfüggvény értelmezésének alapvető problémáit vetette fel. Ez bátorította fel az osztrák fizikust is, hogy saját kérdéseit fogalmazza meg „A kvantummechanika jelenlegi helyzete” c. cikkében, ahol pl.

²¹ *Albert Einstein válogatott írásai.* Typotex, Budapest 2005. 195-205. old.

az EPR gondolatmenethez hasonlóan ő is egy paradoxon (Schrödinger macskája) formájában kérdőjelezi meg, hogy az állapotfüggvény minden körülmények között értelmes lenne. Felismerve, hogy az EPR paradoxonnak a szeparálhatóság (a lokálitás) a lényege, ugyancsak felhívja a figyelmet az ún. „összefonódott állapotokra”, amelyek azután – átmeneti tetszhalál után – a mai kvantuminformatikai stb. kutatások középpontjába kerültek.

Schrödinger egyébként Angliában főleg nem-lineáris elektrodinamikával foglalkozott, de Berlin élénk elméleti fizikai élete után a vendégszerető, viszont nem nagyon érdeklődő kollégák és diákok között nem érezte túl jól magát²², ezért 1936-tól meghívásra a grazi egyetemen (és hetente egyszer a bécsin) adott elő fizikát, bízva az *Anschluss* lehetetlenségében. Ekkor – Eddington munkásságát követve – elsősorban a relativitáselmélettel és a kozmológiával kapcsolatos kérdések foglalkoztatták. 1938-ban a márciusi megszállás után kénytelen volt egy a Führerhez írt vallomásban támogatni a két ország egyesülését, ennek ellenére bécsi állásától hamarosan megfosztották. Augusztusban politikai megbízhatatlanságára hivatkozva a minisztérium elbocsátotta a grazi Adolf Hitler Egyetemről is, ezzel egyidejűleg a Berlieni Egyetem törölte nevét a nyilvántartásaiból. Bécsben közölték vele, hogy csak az iparban kaphat állást, és nem hagyhatja el az

²² L. pl. Popper visszaemlékezéseit: Karl Popper: *Szüntelen keresés. Intellektuális önéletrajz.* Áron, Budapest 1998. 98-99. old.

országot. Feleségével régi életüket, házukat, értékeiket hátrahagyva 3 bőrönddel autójukon menekültek az egyetlen lehetséges irányba, az olasz határra, amit – immár kocsijukat is otthagynak – gyalog léptek át. Üres zsebbel érkeztek vonattal Rómába, ahol Fermi és a Pápai Akadémia (amelynek Schrödinger alapító tagja volt) segített nekik. Innen telefonálni tudtak a Népszövetség közgyűlésének elnökeként éppen Genfben tartózkodó – eredetileg matematikus – Éamon de Valera ír miniszterelnöknek, aki az *Anschluss* után közvetítők segítségével (az angolok elleni harcban számára megszokott konspiratív módon) felvette a kapcsolatot Schrödingerrel.²³ Tanácsára Svájcba utaztak (a határon némi bonyodalmak és veszteglés után engedték csak át őket), majd rövid oxfordi (ahol az említett Hitlerhez írt levél miatt nem fogadták szívesen) és belgiumi tartózkodás után egy év múlva Írországra telepedtek le.

1940-ben Dublinban de Valera a princetoni Institute for Advanced Studies mintájára intézetet (pontosan azon belül egy elméleti fizikai iskolát – az intézetnek ugyanekkor létre hozták a kelta nyelvvel foglalkozó iskoláját is) alapított számára; hosszú ideig itt folytatta kutatásait, fokozatosan felhagyva a kvantummechanikai témákkal, főleg a nem-lineáris optika, klasszikus elektrodinamika, majd az egyesített térelmélet területén. Utóbbi-

²³ William McCrea: Eamon de Valera, Erwin Schrödinger and the Dublin Institute. In: *Schrödinger. Centenary Celebration of a Polymath* 119-135. old.

hoz motivációja a természet egységébe vetett hite volt – mint annyi más fizikus, köztük Einstein esetében is. Hozzá hasonló matematikai/geometriai módszereket alkalmazott, és hozzá hasonlóan eredménytelenül. Ugyanakkor foglalkozik szakterületein kívül eső problémákkal is. Legfontosabb a biológia alapvető kérdéseit tárgyaló „Mi az élet?” című műve, amelynek utószavában az egyik védikus érv – „... a nyugati ideológia számára a gondolat idegen maradt, ... azoknak az igazi szerelmeseknek ellenére, akik, amikor egymás szemébe néznek, látják, hogy gondolataik és örömeik szám szerint egyek...” azonban személyes körülményeire is utal. Beleszeret David Green, a kelta nyelv tudósának rendkívül intelligens feleségébe, a politikai aktivista Sheila May-be, akitől 1945-ben második leánya megszületik – őt azonban a férj neveli fel. Verseket is ír, amelyek szerelmi érzéseit, természetszeretetét vagy akár metafizikai gondolatait fejezik ki (kötete 1949-ben jelent meg). A fizikát azonban sosem hanyagolja el, a háború végén visszatér a statisztikus termodinamikához, amelyből kurzust tart, majd annak tartalmát kis könyvben jelenteti meg. A rövid, de világos összefoglaló azonnal népszerűvé válik, hamarosan lefordítják németre, oroszra, olaszra is. A statisztikai kérdések iránti érdeklődése miatt vette fel a kapcsolatot egy régi berlini tanítványával, Jánossy Lajossal, akinek olvasta a Geiger-számlálók koincidenenciáival kapcsolatos megjegyzését a *Nature*-ben. Így nyert Jánossy 1945-ben meghívást először egy dublini nyári iskola előadói posztjára, majd az Intézet új

kozmosz sugárzási osztályának vezetésére. Főnökbéosztott viszonyuk rövidesen megszűnt – Schrödinger ugyanis lemondott az igazgatói posztról, mert a menedzsmenten belül nem sikerült feltétlen hatalmát biztosítania a takarítónőkkel szemben (időnként eltűnt néhány padlóra dobott cetlije) – de ezután is jól kijöttek egymással.²⁴ Időközben egy évvel az előző után megszületett az osztrák fizikus harmadik lánya is – köszönhetően egy újabb szerelmi viszonynak. Hilde és Ruth helyét (ők visszaköltöztek Innsbruckba March-hoz) a Schrödinger házaspár otthonában az új gyermek foglalta el (anyja nem vihette szülei házába).

1947 elején kínos incidensbe keveredik Einsteinnel. Azt hiszi, hogy lényeges áttörést ért el az affin terek elméletében, és ezt rögtön közli a helyi sajtóval is. A kommunikációs kapcsolatok azonban ekkor már sokkal gyorsabbak, mint az addig Einsteinnel folytatott szívélyes szakmai levelezése, így kijelentései, nevezetesen például, hogy 30 éve várt eredménye a relativitáselméletet speciális esetté minősíti, hamarabb ér el Amerikába, mint levele és a cikk. A sajtó Einsteint is meginterjúvolja, aki helyteleníti a túlzó állításoknak a napisajtóban való leközlését. Schrödinger azzal védekezik, hogy csak az Intézetnek szeretett volna nagyobb támogatást szerezni (ami egyébként sikerült), de ez az érv sem állítja helyre korábbi kiváló viszonyukat, levelezé-

²⁴ Jánossy azután 1950-ben egyik napról a másikra – nagy szenzációt keltve – eltűnik, és Budapesten jelenik meg, ahol átveszi az új KFKI kozmosz sugárzási osztályát.

sük csak 1950-ben folytatódik. Talán ez az eset is hozzájárult, hogy egyre kevesebbet foglalkozott az egyesített térelmélettel és egyre többet filozófiával. Spinozát és ismét görögöket olvas, tudatosan keresve a válaszokat bizonyos tudományfilozófiai kérdésekre. Még ebben az évben befejezi hosszú tanulmányát a természettudományi világkép sajátosságairól, a következőben pedig előadás-sorozatot tart és könyvet jelentet meg „A természet és a görögök” címmel. Megtartva osztrák állampolgárságát, ír állampolgár is lesz. Egymás után mindkét szeméről hályogot kell eltávolítani, így azonban majdnem tökéletesen visszanyeri súlyosan megromlott látását. A házaspár angliai távollétének idején kislányát édesanyja az utcán kivette a nevelőnő toltá babakocsiból, elvitte és Schrödingerék soha többé nem látták. Továbbra is egyre többet foglalkozik filozófiai kérdésekkel, de az 50-es években még egy-egy összefoglalót ír a tér-idő szerkezetéről illetve a táguló világegyetemről, amelyeket kézikönyvként forgatnak. Rövid időre visszaveszi az Intézet igazgatását, de azután 1952-ben vendégprofesszorként megérkezik Lánzos Kornél, aki végül ottmarad, később ő lesz az igazgató. Erre annál is inkább szükség van, mert Schrödinger kritikus állapotba kerül egy elhanyagolt, az utolsó pillanatban megoperált vakbélgyulladás miatt. Rendbe jön, de egészségi állapota egyre rosszabb lesz, beleértve mindig is előjövő bronchitiszét, amelynek az egy életen át történő folyamatos pipázás sem tett jót. Ez nem jelenti azonban azt, hogy ne foglalkozna tudománnyal, visszatér például az őt állan-

dóan izgató kvantumugrások kérdéséhez, vagy általában a diszkréttség problémájához.

Másfél évtized után, 1956-ban tér vissza végleg szülőföldjére. Ezt több próbálkozás is megelőzte mind a bécsi kormány, mind Schrödinger részéről. 1951-ben például March elintézte, hogy meghívják egy félévre Innsbruckba (újra láthatta ekkor már 16 éves Ruth lányát), de állandó állásra nem nyílt lehetőség. Többször részt vett Alpbachban nyári konferenciákon, és a tiroli hegyek váltak kedvenc tartózkodási helyévé. Végül a Bécsi Egyetem Fizikai Intézete fogadta vissza óriási ünneplések közepette (Ausztria legnagyobb tudósaként). Relativitáselméletet és kozmológiát adott elő. Szívproblémái miatt nem tudott eleget tenni a cambridge-i meghívásnak, így Tarner-előadásait felolvasták, majd meg is jelentették „Tudat és anyag” címmel (angolul, spanyolul, németül, norvégul, dánul, japánul, franciául). 1957-ben – nem sokkal fiúunokája bécsi megszületése után – majdnem belehalt egy az influenza szövődményeként megjelenő tüdőgyulladásba. Oktatási kötelezettségei alól felmentik, *Világnézetem* c. könyvének második felén dolgozik. Bronchitisz és asztma gyötri, kiújul negyven évvel korábbi tuberkulózisa, ez megakadályozza az intenzív tudományos tevékenységben. Felesége 1960 őszén csaknem belehalt egy asztmarohamba, de végül 4 évvel túlélte férjét. Schrödingert valószínűleg a szíve vitte el 1961. január 3-án. Alpbachban a katolikus templom kertjében temették el, amit a pap csak Pápai Akadémiai tagságára tekintettel engedélyezett.

* * *

Kötetünkbe megpróbáltuk Schrödinger számos előadása, cikke közül azokat beválogatni, amelyek leginkább tükrözik természetfilozófiai nézeteit. Ezek majdnem felét a Gondolat Könyvkiadónál két kiadásban is megjelent *Válogatott tanulmányokból* vettük át, változatlanul hagyva Nagy Imre fordításait. Átvettünk azonban néhány más forrásból (pl. *Fizikai Szemle*) származó magyar fordítást is. Végül az írások harmada olyan új fordítás, amellyel természetfilozófiai szempontból feltétlenül kiegészítendőnek tartottuk az eddig a magyar közönség elé került Schrödinger-cikkek sorát. Közéjük tartozik a híres-hírhedt „Schrödinger macskája”-t tartalmazó tanulmány is, amely Gerner József kiváló fordításában most jelenik meg először magyarul.

Elsőként a *Mi a természettörvény?* c. előadást közöljük, amelynek eredetije 1922-ben hangzott el Zürichben, amikor Schrödinger elfoglalta ottani állását az egyetemen. Az Exner álláspontját ismerető – és amellet kiálló – szöveg annak idején nem jelent meg nyomtatásban és (Exner írásaihoz hasonlóan) nem keltett igazán nagy feltűnést.²⁵ Azután 1927-ben Heisenberg felfedezte a határozatlansági relációt, és ezzel erőre kaptak az indeterminista nézetek, mintha azok a kvantummechani-

²⁵ Exnerről, indeterminizmusáról és Schrödingerrel való kapcsolatáról bővebben l. Paul A. Hanle: Indeterminacy Before Heisenberg: The Case of Franz Exner and Erwin Schrödinger, *Historical Studies in the Physical Sciences* 10 1979. 225-269. old.

kával lennének kapcsolatosak.²⁶ Schrödinger ezért látta szükségesnek 1929-ben nyomtatásban is megjelentetni ezt az előadást, bizonyítván, hogy a determinizmus már a kvantummechanika előtt sem volt szükségszerű álláspont, és hogy ennek felismerésében Exner eminens szerepet játszott. Ezidőtájt egyébként a determinizmus-indeterminizmus kérdésben Poincaré konvencionalista álláspontjára helyezkedett: mindkét felfogás lehetséges: „A forradalmi nézet szerint a meghatározatlan véletlen az elsődleges és vissza nem vezethető. A törvény csak a tömegjelenségek statisztikájaként jelenik meg az ezekben a jelenségekben szereplő milliárdnyi véletlen kölcsönhatásának köszönhetően. A konzervatív nézet szerint a törvény kényszere az elsődleges és vissza nem vezethető, míg a véletlen megszámlálhatatlanul sok észrevehetetlen részleges ok kölcsönhatásának következménye. Ennélfogva a véletlen itt valami szubjektív – csak egy név saját képtelenségünkre, hogy a számos kis rész-ok részletes működését felfedezzük. Aligha van lehetőség a kérdés kísérleti eldöntésére.”²⁷ A „Mi

²⁶ Az indeterminizmus keletkezéséről a fizikában I.: Szegedi Péter: Determinizmus, indeterminizmus és káosz. A fizika hozzájárulása, in: *Rend és káosz. Fraktálok és káoszelmélet a társadalomkutatásban*, szerk. Fokasz Nikosz, Replika Kör, 1997. 69-84. old.

²⁷ Erwin Schrödinger: Das Gesetz der Zufälle. Der Kampf um Ursache und Wirkung in den modernen Naturwissenschaften, *Die Koralle* 5 1929. 417-418. old.; angolul: The Law of Chance. The Problem of Causation in Modern Science, in: *Science Theory and Man*. 50. old.

a természettörvény?”-ben Schrödinger két kifogást emel az ellen, hogy a klasszikus fizika tömegjelenségeken alapuló (vagyis valójában statisztikus) törvény-fogalmát (vagy az ezektől általa nem nagyon megkülönböztetett szükségszerűség-, determinizmus- vagy okság-fogalmakat) a mikrofizikában is alkalmazzuk. Az egyik a dolog *circulus vitiosus* jellege, hiszen a makroszkopikus testek tulajdonságainak, mozgásainak átlagai – ezek állnak ugyanis a törvények mögött – pontosan az egyedi mikroszkopikus objektumokból és ezek mozgásából képződnek. A másik pedig az, hogy ez a felfogás a statisztikai és oksági törvényekkel egyfajta dualizmust – a szerző által feleslegesnek tartott megkettőzést – hoz létre: „A külső jelenségek világában világos és határozott érthetőség, mögötte pedig a sötét, örökre érthetetlen parancs, a misztikus végzet!” Ezért Exnert támogatva – aki szerint csakis statisztikai törvények vannak – még azt is feltételezi, hogy a gravitációs törvényről (illetve a relativitáselméletről) és az elektrodinamikáról is kiderülhet, azok valójában statisztikus jellegűek, „ha egyszer levetkőzzük az abszolút oksággal kapcsolatos megrögzött előítéleteinket”.

Második szövegünk az 1925-ös *Világnézetem* kötet bevezető fejezete *A metafizikáról általában* címmel. Schrödinger itt a XIX. század közepétől a természettudományban igen divatos nézetet vizsgálja, miszerint a metafizikát el kell távolítani a tudomány közeléből. A szerző szerint e cél elvileg helyeselhető lenne, sőt Kant révén már meg is történt, de ezáltal a tudomány (és a művészet) fejlődő-

désre képtelenné válik. A feladat éppen az, hogy miközben visszaszorítjuk a metafizikát, meg is tartjuk azt, ugyanis – mint a megismerés előretolt állása, vagy épületének állványzata – nélkülözhetetlen minden kutatási terület számára. Egy szélesebb értelemben Schrödinger itt kifejtett gondolatai ma is megfontolandóak lehetnek.

Válogatásunk követi az időrendet, de itt – az időpontokra való tekintet nélkül – közbeiktattunk néhány levelet, amelyet Schrödinger Albert Einsteinnek és Jánossy Lajosnak írt, illetve tőlük kapott. Ennek az a jelentősége, hogy ez az a műfaj, amelyben a szerzők a lehető legkevésbé vannak korlátozva (legfeljebb a partner érzékenysége által) véleményük kifejtésében, amelyben legszabadabban írhatnak akár világnézeti kérdésekről, és amelyben gondolataik érzelmi motivációi is láthatóvá válnak. Az első Schrödinger-Einstein levélpár 1928-ból való és a határozatlansági relációval kapcsolatos problémáikat érinti. A második levelezésük 1950-es újrakezdésének idejében keletkezett, témája – a valószínűség fogalma kapcsán – a fizikai realizmus szükségessége. Míg ezekben a levélpárokból Schrödinger a problémafelvető, addig az 50-es években Jánossyval folytatott levelezésében ez a szerep inkább a magyar fizikusé. Jánossy elsősorban a kvantummechanikával kapcsolatos gondolatait és kísérleteit akarja tesztelni korábbi főnökénél, aki – ahogy ő maga írja – az „ördög ügyvédjeként” a koppenhágai felfogás magyarázataival próbálja féken tartani a nem-ortodox nézeteket

kifejtő kollégát (valószínűleg egyszerűen jóakarattól). Eközben kiderül azonban, hogy Schrödinger továbbra is ugyanúgy nem-ortodox nézeteket vall, így például elveti a részecske-képet.

A Heisenberg-Born-Jordan-féle kvantummechanika viszonya az enyémmhez egy szacikk, amelynek itt csak az első és utolsó paragrafusát közöljük. Az elsőben a szerző megadja a gondolatmenetet, amelyet követve a 2-4. paragrafusokban formálisan bizonyítja a két elmélet matematikai ekvivalenciáját, az ötödik pedig a jelen válogatásban bennünket érdeklő értelmezés szempontjából fontos. Ez utóbbiból két dolog tűnik ki. Elsőként, hogy bár tökéletesen tisztában van azzal, hogy Heisenberg és elmélete követi a tudomány feladatának machi megfogalmazását, törekszik az ezen túlmenő, szemléletes fizika megőrzésére. Másodszer, hogy ebben az időben a szemléletes értelmezésként azt vallja, hogy a „mechanikai teret leíró skalár függvény” (ahogy a később hullámfüggvénynek vagy állapotfüggvénynek nevezett matematikai objektumot hívja) az elektromosság térbeli sűrűségét, azaz a töltéssűrűséget adja meg. Ez a kvantummechanika Schrödinger-féle hullám-interpretációjának eredeti gondolata.²⁸

Nobel-előadásában Schrödinger *A hullámmechanika alapp gondolata* címmel próbálta elmagyarázni elméletének főbb vonalait, elsősorban a fénysuga-

²⁸ Erről az elektromágnesesnek is nevezett interpretációról részletesebben l. pl. Max Jammer: *The Philosophy of Quantum Mechanics: The interpretations of QM in historical perspective*. Wiley, 1974. 24-33. old.

rakra vonatkozó Fermat-elv és a mechanika Hamilton-elvének analógiáját felhasználva, illetve ezeket a megfelelő hullámelméletekhez viszonyítva. A gondolatmenet érdekessége, hogy máshol igen kevés példát találunk Schrödingernél a komplementaritási elv felhasználására, itt pedig – pl. a terjedési folyamat longitudinális és transzverzális tulajdonságainak szembeállításával – mintha ezt tenné. Az előadás utolsó mondatai – anélkül, hogy néven neveznék – elég világosan utalnak Bohr elvére.

A fizikusok körében Schrödinger talán legelhíresebb cikke *A kvantummechanika jelenlegi helyzete* 1935-ből, amely kötetünkben jelenik meg először magyar nyelven. Az EPR cikkhez hasonlóan ez is a valóság és a fizikai elmélet kapcsolatának bemutatásával kezdődik. Ehhez az osztrák fizikus a modell fogalmát használja fel (1. §). Az általános tárgyalás után rátér a kvantummechanikai modellek sajátosságaira (2. §). A gondolatmenet során megjegyzés nélkül elfogadja a Born-féle valószínűségi értelmezést (3-4. §). Ez más írása-ira is jellemző, miközben gyakran szót emel ellene, minthogy nincs megelégedve a szubjektivista vagy komplementaritás-alapú értelmezésekkel. Úgy tűnik, képes volt használni a hullámfüggvény valószínűségi értelmezését, és közben hinni, hogy a Ψ valamilyen valóságosat képvisel. A kvantummechanikai modellek sajátosságai közül szerinte a legfontosabb, hogy a klasszikus modellekkel ellentétben, itt a párba állított változók közül mindig csak az egyiket adhatjuk meg tetszőleges pontossággal, a másik ebben az esetben – a Heisenberg-féle határozatlan-

sági relációk miatt – (teljesen) bizonytalan marad. Schrödinger felteszi a kérdést, hogy vajon valóban elmosódottak-e a változók (5. §). A kvantummechanikai állapotfüggvény minden információt tartalmaz az összes változóról és elmosódottságukról. Megtehetjük azonban, hogy szoros kapcsolatot hozunk létre kvantummechanikai rendszerek – akár kis mennyiségű radioaktív atom – és makroszkopikus rendszerek között. Ennek egyik példája a cikkben leírt – és később Schrödinger macskája néven hivatkozott – berendezés. Ennek kiindulópontján (a mikroszkopikus oldalon) még elhisszük, hogy létezik az elmosódottság, de végpontján (a macska esetében) a modellt már nem tekinthetjük a valóság képmásának – legalábbis a szerző szerint. Másokat – például Neumannt vagy Wignert – nem zavarta, hogy a se nem élő, se nem halott macskát az emberi megfigyelés ugrasztja be egy határozott állapotba, azaz pl. öli meg. A macskatulajdonosok számára pedig még emberi megfigyelő sem volt szükséges, hiszen szerintük a macska tudatos lény, aki maga hajtja végre a megfigyelést. A paradoxont a végtelességig lehet fokozni, ha pl. feltételezzük, hogy az élet-vagy-halál mérésnek – a normál kvantummechanikai változókhoz hasonlóan – létezik párja, akkor annak mérésével a már egyszer elpusztult macskák feltámaszthatóak. Az EPR paradoxonhoz hasonlóan kötetekre rugó, és még ma is egyre szaporodó kommentárirodalomban igen messzire vezető – sokszor filozófiai – következtetéseket is találunk, Schrödinger maga azonban csupán azt gon-

dolta, hogy a kvantummechanika alkalmazási körének vannak határai, és ő erre mutatott rá.

Nagyjából ez utóbbi áll magának az EPR-paradoxonnak a cikkbeli elemzésére is. Ehhez Schrödinger egy általánosabb elméleti keretet használ fel (lényegében a 6. §-tól), amelynek csak egy példája Einsteinék gondolkísérlete. Ezen belül a mérést pl. úgy definiálja (8. §), mint a mérőeszköz és az objektum olyan tervszerű kölcsönhatását, amely reprodukálható az eljárás azonnali megismétlésével (vagyis egy rendszeren elvégzett mérés gyors megismétlése ugyanahhoz a mérőszámhoz kell vezetessen). Az elméleti keret talán legfontosabb fogalma az összefonódottság, amiről akkor beszélhetünk, ha két rendszer egy időre kölcsönhatásba kerül egymással, azaz – az állapotfüggvény szempontjából – eggyé válnak, majd újra eltávolodnak egymástól. Ekkor a kvantummechanikai leírás csak az összrendszerre vonatkozóan teljes, a részrendszerekről való tudásunk csak mérés(ek) révén válhat szintén teljessé. Az egyik rendszeren végzett mérés azonban – az összefonódottság miatt, azaz mert a rendszerek nyomot hagytak egymáson – a másik rendszerről is teljes tudást biztosít, anélkül, hogy ott is mérnünk kellene. Ez vezet a szerző szerint antinómiákhoz. Az osztrák fizikus által hangsúlyozott összefonódott – vagyis az egymástól esetleg messze eltávolodott, de mégis egymás nyomát viselő rendszerekre vonatkozó – állapotok ma nagyon fontos szerepet játszanak a kvantuminformatikában, vagyis a kvantummechanikai rendszerekkel történő rejtjelezésben és kódfejtésben, valamint

a kvantumszámítógépek építésében. Az előbbiek gyakorlati jelentősége az Internet korában aligha túlbecsülhető, az utóbbi ma még talán csak egy álom, amely azonban beteljesülhet. Ha így lesz, az első kvantumszámítógépet leginkább Schrödinger-ről kellene elnevezni.

Schrödinger legismertebb műve a *Mi az élet?* c. kis könyve, amelyet terjedelmi okokból itt nem közlünk, de kötetünk internetes kiadásában hozzáférhető. Eredetileg ez egy 1943 februárjában mintegy 400 fős laikus közönség – köztük egyházi és állami vezetők, így de Valera – előtt tartott előadássorozat volt, amelyet vezető professzorként elvártak tőle. A fizikai és biológiai rendszerek összefüggéseire vonatkozó alapötletek már egy 10 évvel korábbi – még a Porosz Tudományos Akadémián tartott – előadásában felmerültek. A szerző a mű elején felveti a szerinte fő kérdést, azaz hogy hogyan lehet a fizika és kémia eszközeivel leírni az élő szervezet működését (I. fejezet). Reményét fejezi ki, hogy – bár jelenleg még nem –, de a jövőben ez a leírás megvalósulhat. Példának hozza fel, hogy a fizika mindeddig csak periodikus kristályokat tanulmányozott, a kromoszóma-szál – amelyet az élő sejt legfontosabb részének tart – pedig *aperiodikus kristály*nak tekinthető, amely jóval bonyolultabb struktúrájú, így a szerves kémia segítségére is szükség van megismeréséhez. A fizikus számára további nehézséget okoz, hogy első közelítésben úgy gondolná, az élő szervezet stabil működését csak nagyszámú atom illetve molekula statisztikus törvényszerűségei hozhatják létre, de kide-

rült, hogy az életműködések vezérlésében egészen kicsiny atomcsoportok meghatározó szerepet játszhatnak (II. fejezet). A magyarázathoz rátér a genetika ismertetésére, az öröklődés mechanizmusára, a kromoszómák, gének szerepére, az osztódás különböző fajtáira. Eközben talán először fejt ki világosan a genetikai kód fogalmát. (Ne felejtjük el, hogy egy évtizeddel vagyunk Watson és Crick felfedezése előtt, a DNS szerepe egyre világosabb, de pl. hogy a fehérjeszintézist irányítja, azt Schrödinger még nem tudta, már csak azért sem, mert messze nem volt naprakész a genetikában.) Az ismertett mechanizmusok biztosítják a génszerkezet állandóságát, de nem magyarázzák az evolúciót. Ehhez mutációkra van szükség (III. fejezet), amelyek a fizikust a kvantumelméleti ugrásokra emlékeztetik: „két szomszédos energiaszint között nincsenek közbülső szintek”. Így azután az élet magyarázatába be lehet hozni a kvantummechanikát is (IV. fejezet), amely – határozatlansági reláció ide vagy oda – éppen a stabilitást hozza be az élet működésébe kvantált energiaszintjeivel. Ismerteti a génekre és mutációkra vonatkozó Delbrück-féle fizikai modellt (V. fejezet). Bár ez a modell nem adja meg a pontos biológiai működést, „... de furcsa módon egy általános következtetés levonható belőle, s bevallom, könyvem megírásának ez volt az egyetlen indítéka. Delbrücknek az öröklődés anyagi hordozójára vonatkozó általános képéből következik, hogy az élő anyagra, noha nem siklik ki a máig feltárt ‚fizikai törvények’ alól, valószínűleg eddig ismeretlen, ‚más fizikai törvények’ érvényesek, ame-

lyek, ha sikerül őket egyszer feltárni, éppen olyan lényeges részét alkotják majd a fizikának, mint a régebbiek.” (VI. fejezet) Ez az az – egyébként a szövegkörnyezettel együtt is többféleképpen értelmezhető²⁹ – következtetés, amelyet olvasva számos ifjú fizikus úgy gondolta, hogy érdemes biológiával foglalkoznia, és amely így fellendítette a molekuláris biológiai (molekuláris biofizikai, biokémiai) kutatásokat. Itt az óriási feltűnést keltő gondolatmenet egyik legvitatottabb része következik, miszerint az élő anyag a termodinamikai egyensúly – halott – állapotának elkerülése érdekében negatív entrópiával táplálkozik. (A bírálatok hatására a fejezethez írt jegyzetben azért a szerző elismeri, hogy egyrészt elég speciális ételekre van szükségünk, másrészt a táplálék energiatartalma is nagyon fontos.) A fizikusok és biológusok egy része szerint a szerző sikeresen megvilágította az élet lényegét, hozzájárult annak megértéséhez. Mások (pl. Linus Pauling) szerint termodinamikai megállapításai még népszerűsítő szinten is pontatlanok, felületesek és félrevezetőek, következésképpen semmit sem nyújthatnak a biológia számára. A biológiai és – hiányzó – kémiai tartalom miatt írta egy másik Nobel-díjas bí-

²⁹ A retorikai elemzés szerint a többféle értelmezés lehetősége az egyik oka annak, hogy a mű nagyon fontos inspirációt jelentett az interdiszciplináris együttműködésre. A másik a szerző stratégiai törekvése arra, hogy összeegyeztesse a különböző (fizikai és biológiai) érdekeket, ambíciókat, fogalmakat, ideológiákat, anélkül, hogy valamelyik tudományágat a másik alá akarta volna rendelni. L. Leah Ceccarelli: *Shaping Science with Rhetoric. The Cases of Dobzhansky, Schrödinger, and Wilson*. The University of Chicago Press, Chicago 2001.

rálója: „ami igaz a könyvében, az nem volt eredeti, a legtöbb eredeti pedig már a megírásakor sem tűnt igaznak”³⁰. Schrödinger gondolatmenete végül az óraszerkezet és az élő szervezet hasonlóságával (és részben különbözőségével) zárul (VII. fejezet).

A könyv második nagyobb feltűnést keltő része a determinizmusról és szabad akaratról szóló Utószó (ez az előadássorozatban nem szerepelt, a szerző szubjektív véleményének közzétételével saját magát „jutalmazza”), amely a védikus megközelítés mellett érvel – kiváltva így a keresztényellenesség vádját a teológus kritikusoktól, és megnehezítve a könyv kiadását. A szerző két tételből indul ki: „(I) Testem a természettörvényeknek megfelelően tiszta mechanizmusként működik. (II) De megcáfolhatatlan közvetlen tapasztalat, hogy mozgását, amelynek hatását előre látom ... vállalom értük a teljes felelősséget, én magam irányítom. E két tényből szerintem az az egyetlen lehetséges következtetés, hogy én – a szó legtágabb értelmében véve, azaz, minden tudatos értelem, amely valaha kimondotta vagy érezte az ‚én’-t – magam szabályozom az ‚atomok mozgását’ a természet törvényei szerint. . . Keresztény terminológiában kifejezve: ‚Tehát én vagyok a mindenható Isten’, ez istenkáromlásnak, s egyúttal örültségnek is hangzik.” Schrödinger azonban joggal mutat rá, hogy pl. a hindu gondolkodásban ez egészen másképp van, hiszen

³⁰ M. F. Perutz: Schrödinger’s What is Life? and Molecular Biology, in: *Schrödinger. Centenary Celebration of a Polymath* 234-251. old.

az upanisadok fő célja éppen az, hogy az olvasója (hallgatója) megtapasztalhatta az Átman (a személyes én vagy lélek) Brahman (a mindenütt jelenlévő, mindent magában foglaló örök én, az Isten) azonosságát. Ez után megállapítja, hogy a tudatot senki sem tapasztalja többes számban, a tudat többszörösségének feltevését több okból is gyanúsak találja. Az egyetlen lehetséges megoldás szerinte az, „hogy a tudat egyes számú ... csupán egyetlen dolog létezik, s amit többszörösségnek látunk, csupán ugyanazon dolog különböző aspektusainak csalódás okozta sorozata (a hindu MAJA) ...”

A könyvnek a korabeli természettudósok számára kissé misztikus befejezése, a szabad akarat és a determinizmus paradoxonának illetően feloldása ellenére, nemcsak a fizikusokra, hanem a biológusokra is nagy hatással volt. Az eredetileg zoológus James Watson például a mű olvasása után kezdett el a génekkel foglalkozni, de általában véve is felgyorsította a molekuláris biológia haladását. Nem nagyon tudunk más olyan modern kori ismeretterjesztő írásról, amely ilyen befolyással lett volna egy tudományág fejlődésére. A megjelenést követő években lefordították németre, olaszra, spanyolra, franciára, svédre, japánra, oroszra stb.

Mit nevezünk elemi részecskének? c. tanulmánya jól illusztrálja, hogy Schrödinger két évtized múltán sem képes teljesen elfogadni a koppenhágai értelmezést. A „szokásos ábrázolás” címen ismerteti, de a megfogalmazások valahogy mindig túlmennek a tényleg szokásos ortodox szövegen: „... a ,hullám-tulajdonságok’ és ,részecske-

tulajdonságok' sohasem fordulnak elő külön-külön, hanem mindig együtt, mégpedig oly módon, hogy ugyanazon jelenség két különböző *oldalát* alkotják – s ez a fizikai eseményekre általában érvényes. Az egyesülés nem laza, külsőleges.” (2. fejezet) Az ellenkezőjét írja, de továbbra is ragaszkodik a hullámok realitásához: „‘Hullám’-okon nem szabad reális hullámokat elképzelnünk. . . . Lényegileg matematikai konstrukcióról van szó . . . Itt nem tudok magamba fojtani egy ellenvetést, amely túlságosan közelfekvő ahhoz, hogy a figyelmes olvasóban is föl ne vetődjék. Olyas valamit, ami valami másnak a fizikai viselkedésére hatással van, semmilyen tekintetben sem szabad kevésbé reálisnak tekintenünk, mint azt a valamit, amire hat – bármilyen jelentést is adjunk a veszélyes ‚reális’ jelzőnek.” (3. fejezet) A határozatlansági reláció és a mérés értelmezésével kapcsolatban ismét realista alapról kritizálja a pozitívizmust: „Ha a filozófiai pozitívizmust hívnánk segítségül, kioktatnak bennünket, hogy nem szabad különbséget tennünk egy fizikai tárgyról megszerezhető ismeretek és annak valódi természete között. A két dolog egy és ugyanaz. A filozófiai pozitívizmus e tételét itt nem akarom vitatni. *Abban* teljesen egyetértek velem, hogy a határozatlansági relációnak semmi köze tudásunk tökéletlenségéhez. . . . Viszont semmi esetre sem következik szükségszerűen, hogy állításaink és fejtegetéseink nem ölthetik többé az azon való gondolkodás formáját, mi történik valójában az anyagi világban. Ennek valódiként való elképzélése kényelmes gondolkodási szokásunkká vált. A mindennapi életben

mindenki ezt a szokást követi, még azok a filozófusok is, akik elméletileg elvetették, például Berkeley püspök.” (5-6. fejezet) Ami a konkrétumokat illeti, itt feladni látszik az 1926-os álláspontját a több részcskére vonatkozó, sokdimenziós rezonanciákkal kapcsolatban, minthogy elfogadja a másodkvantálás módszerét. Miközben azt sejteti, hogy a pozitivizmus „gyógyszere” akadályozza a valódi megértést (6. fejezet), ténylegesen alkalmaz pozitivistá álláspontokat: „Itt az anyagnak és az anyagi világnak azt a felfogását szándékozom ismertetni, amelyre Ernst Mach, Bertrand Russell és mások a fogalom gondos elemzésével jutottak. . . . E felfogás szerint anyagdarabnak nevezzük az eseményeknek olyan összefüggő ‚fonalát’, amelyek időben egymáshoz illeszkednek, miközben a közvetlen egymás utániak általában rendkívül hasonlóknak egymáshoz.” (7. fejezet).

Ez után az ismeretelméleti bevezető után jut el a cikk fő problémájához, a részcskék individualitásának, azonosságainak kérdéséhez, és a modern fizika ezzel kapcsolatos tanulságaihoz. Külön felhívnánk a figyelmet arra az egyszerű példájára (10. fejezet), amelynek segítségével egy laikus is megértheti a modern fizika statisztikáit, és azok jelentőségét.

Schrödingernek *A 2400 éves kvantumelmélet* c. cikke arra bizonyíték, hogy miközben a kvantummechanikát megpróbálja kizárólag a hullámok segítségével értelmezni, egyáltalán nem mond le az atom-hipotézisről és az anyag kvantumos szerkezetéről. A kvantummechanikát az atomelmélet mai

formájának tekinti (az imént tárgyalt „Mit nevezünk elemi részecskének?” első mondatában is). Érdekes az a történeti séma, amelybe az atomok közötti kölcsönhatást belefoglalja. Az antik atomizmusban ez egyszerűen az atomok alakján keresztül érvényesülhetett, az újkori atomizmusban az erő közvetítette, a relativisztikus elméletben azonban ismét elgeometrizálódik, a kvantumelméletben pedig maga a kölcsönhatás is atomizálódik.

A *Mi az élet?* végén körvonalazott gondolatok részletesebb kifejtést nyernek *A természettudományos világkép sajátosságai* c. tanulmányban. Schrödinger szerint a természettudományos-görög gondolkodásmódra két alapfeltevés jellemző: a) a természeti történések megérthetők, b) a megismerő alany kikapcsolható a világképből (I. fejezet). Az első elemzése során az osztrák fizikus talán itt szegül szembe leghatározottabban a pozitívizmussal: „... megpróbálom bebizonyítani, hogy a remény a természet megérthetőségére mégiscsak valamivel többre képes, mint a tapasztalat teljes, legegyszerűbb és gondolkodás-ökonomikus leírása...”. A pozitívizmus korabeli formáit (neopozitívizmus vagy logikai pozitívizmus) – fizikus kollégáihoz hasonlóan – valószínűleg kevésbé ismeri, de Mach műveit alaposan áttanulmányozta, és mint már korábban is említettük, az azokban található gondolatok erősen hatottak rá. Az érvelés elején (II. fejezet) rámutat, hogy a természeti jelenségek megérthetőségének gondolata a ion természetfilozófiából származik – amelynek éppen ez volt a legfontosabb eredménye. Rendkívül nagy jelentőséget tulajdo-

nít a dezantropomorfizáló szemlélet megjelenésének. A történeti megjegyzések után röviden bemutatja a gondolkodás ökonómiájának machi elvét. A pozitívizmust, mint a spekulatív filozófiákra való egészséges reakciót jellemzi, amely azonban szintén túlzásba esik mindenféle magyarázat helytelenítésével. Bár tisztában van a pozitívizmus erős pozíciójával, ezúttal bírálja azt. Érvelését a történeti jellegű tudományok példáival kezdi – ezek eredményei semmiképpen nem ellenőrizhetők közvetlenül –, majd rátér a természettudományokra is (fizika, biológia). Kiáll a szemléletesség mellett, és tagadja, hogy az ezt akadályozó Heisenberg-féle határozatlansági reláció értelmezési problémái a szubjektum-objektum viszonyból fakadnának, szerinte inkább arról van szó, hogy eddig nem sikerült egyesíteni a korpuszkuláris- és hullám-elképzeléseket. Nem tartja eretnekségnek, ha a tudomány által szolgáltatott szemléletes, érthető összefüggéseket tartalmazó képben nem minden elem hozzáférhető a közvetlen megfigyelés számára.

A mű második felében a szerző tudatosan keresi a természettudományos-görög (tulajdonképpen a racionális) gondolkodásmódtól való eltérés lehetőségeit. Először az érthetőségi feltevés „hézagai”-t elemzi (III. fejezet)³¹. Mivel gondolkodásunk a lényegi, szükségszerű, kauzális összefüggéseket ál-

³¹ E „hézagok”-ról szóló elemzés irodalmárokat is meghihletett, l. pl. Kabdebó Lóránt: A nyugati gondolkodás „hézagai” a poétikában. *Publicationes Universitatis Miskolciensis. Sectio Philosophica* tom. 9. fasc. 1. 2004. 103-156. o.

lítja a középpontba, és figyelmen kívül hagyja a sok száz egymást keresztező kauzális láncolatot, szerinte „... az összefüggéseknek csupán egy kicsiny, mégpedig a legtriviálisabb részét tárja föl, míg a főrész megértetlen marad.” A lényeg-jelenség, szükségszerű-véletlen, egyes-általános problematikába ütközve – úgy tűnik – azt javasolja, hogy a természettudományos gondolkodást valahogyan ki kéne egészíteni a kínai (taoisztikus) filozófia elemeivel. (A tao valóban egyszerre jelenti az egységes világtörvényt és a konkrét utat, ami az európai hagyományoktól eléggé idegen.) A tanulmány utolsó (IV.) fejezete a reális külvilág hipotézisének „hézagait” keresi. Hérakleitosz és Démokritosz töredékeivel próbálja bizonyítani, hogy a természettudományos világképben nincs helye a megfigyelő szubjektumnak. A fiziológus Sherrington írásával támasztja alá azt az állítást, hogy a fiziológiai folyamatok nem azonosak a gondolkodással, következésképpen a tudat és az anyag között nincs kölcsönhatás. A személyiség fizikai-kémiai-biológiai módszerekkel nem tárható fel. A szubjektum helyét a következőképpen kívánja megtalálni: „Persze öt szóval megadható az ok, amiért érzékelő és gondolkodó énünk a világképben sehol sem található: tudniillik ő maga ez a világkép. Azonos az egészszel, s ezért nem lehet annak része. Ámde: a tudatnak száma nagy, a világ viszont csak egyetlen. Az aritmetikai dilemma eredete szerintem az utóbbinak a keletkezéstörténete, a világfogalom keletkezése.” Az „aritmetikai dilemmá”-ból véleménye szerint két kiút lehetséges. Az egyik a leibnizi mo-

nász elmélet, azaz, hogy minden monász önálló világ, amely nincsen kapcsolatban a többivel; a monások összhangja eleve elrendeltetett. Ő azonban elveti a világ ilyen megsokszorozását. Inkább a Védák tanításával ért egyet, miszerint a sokszorosság csak látszat. Egy XIII. századi perzsa-izlám misztikust idéz: „A lélekvilág egyetlen lélek, amely fényként áll a testvilág mögött, s minden egyes létrejött lényen, mint ablakon átcsillan. Az ablak minőségétől és nagyságától függően több-kevesebb fény hatol a világba. A fény azonban változatlan marad.” Bár elismeri, hogy ez a felfogás a nyugati filozófus számára nem kielégítő, mégis fenntartja azt az álláspontját, hogy a görög természettudományos gondolkodást keverni kell a keleti misztikával, és ennek legalapvetőbb indoka, hogy a tudat „többes száma teljességgel elképzelhetetlen.”

Továbbfűzve gondolatait, a csaknem három évtizeddel később keletkezett modern antropikus elv által is figyelembe vett kérdésekhez jut: „Nagyon furcsa, sőt szinte ellentmondásos, ha azt kell gondolnunk, hogy a szemlélődő, tudatos szellem, amelyben egyedül tükröződik a világfolyamat, csupán ennek során valamikor keletkezett, mégpedig, hogy úgy mondjuk, szinte véletlenül, egy speciális biológiai intézkedés kísérő körülményeként ... S mielőtt ez bekövetkezett, az egész játék üres padsorok előtt zajlott volna le? Szabad-e az olyan világot, amelyet senki sem szemlél, annak nevezni? ... az olyan világ, amely sokmillió éven át fennállt anélkül, hogy valamilyen szellem megszemlélte volna, nevezhető-e egyáltalában valaminek? *Léte-*

zett ez? Ne feledjük el: amikor főntebb azt mondtuk, hogy a világfolyamat tükröződik a szemlélődő szellemben, úgy ez csak klisé, frázis, szókép, amely polgárjogot szerzett. A világ csak egyszer adott. Semmi sem tükröződik. Az ősminta és a tükörkép egy. A térben és időben elterülő világ a mi elképzelésünk. Hogy ezenkívül még valami más is, arra legalábbis a tapasztalat – mint ezt már Berkeley püspök is tudta –, semmilyen támpontot sem nyújt.” Itt nyilván már kissé eltávolodott Boltzmann, vagy későbbi barátai, Planck és Einstein, vagy akár saját realizmusától. Továbbra sincs azonban szó arról, hogy az európai értelemben vett (szervezett) vallást preferálná. A cikk végén kifejti, hogy a természettudomány tér-időbeli világmodelljéből hiányzanak az érzékminőségek, az erkölcsi és esztétikai értékek, az élet megbecsülése, a fájdalomokozás tilalma, az értelem és a cél – hiszen mindezeknek csak a szemlélődő szellemmel kapcsolatban van jelentésük. Mindazonáltal „megvédi” a természettudományt az istenhivőkkel szemben: „A személyes istennek nincs helye olyan világképben, amely csak azon az áron vált hozzáférhetővé, hogy minden személyest eltávolítottak belőle. Ha istent átélik, az számukra éppen olyan reális élmény, mint az érzéklet, mint saját személyiségünk. Az utóbbihoz hasonlóan az istennek is hiányoznia kell a tér-időbeli képből. ‚Térben és időben nem találok az Istent’ – mondja a becsületes természettudományos gondolkodó, s ezért éppen azok szidalmazzák, akiknek a katekizmusában ez áll: az isten szellem.”

A Louis de Broglie tiszteletére 1953-ban kiadott kötetben szereplő *A hullámmechanika értelmezéséről* c. cikkében természetesen az elvontabb filozófiai témákról az alkalmat felhasználva visszatér a hullám nézőpont érvényesítésének lehetőségéhez a kvantummechanikában. Áttekinti, hogy feltehetőleg de Broglie-val együtt – Schrödinger részéről elsősorban a szemléletesség érdekében – miben bíztak a hullám-felfogással kapcsolatban. Sorra veszi „csalódásaikat”, vagyis hogy mennyiben volt problematikus a kizárólag hullámokon alapuló elképzelésük. A kvantummechanika új eredményeinek (az induvális részecskék hiánya, másodkvantálás) megjelenése után már kiküszöbölhetőnek tartja a hullámértelmezés korábbi hibáinak jó részét, és a hátramaradók feloldását ígéri, remélve, hogy az atomizmus megmarad, de a „kockajáték” nélkül.

Válogatásunkat Schrödinger utolsó természetfilozófiai művével zárjuk, amely tekinthető végső filozófiai álláspontjának is. 1960-ban *Világnézetem* néven 1925-ben papírra vetett írásait egészíti ki egy fejezettel, amely a *Mi a reális?* címet kapta. Az inkább egyfajta hitvallást, mint logikailag pontos gondolatmenetet tartalmazó szellemi végrendeletet az anyag és a tudat dualizmusával indítja (I. fejezet). Véleménye szerint, ha a kettőt ténylegesen megkülönböztetjük, akkor képtelenség kölcsönhatást feltételezni közöttük. Megemlíti néhány materialisztikus monista kísérletet, majd megállapítja: „Ha egyetlen szféra mellett döntünk, annak a pszichikainak kell lennie, mert ez mindenestre létezik (cogitat-est).” A reális külvilágot tudati konst-

rukciónak tartja, amely mellett e konstrukciót létrehozó objektum feltételezése fölösleges kettőzés: „... mindent, ami történik, a világról való tapasztalatunkban végbemenőnek kell gondolnunk, anélkül, hogy bármely anyagi hordozónak mint tárgynak tulajdonítanánk, amelyről tapasztalatot szerzünk; ez a hordozó, mint fejtegetéseink a továbbiakban mutatják majd, valóban teljesen és tökéletesen fölösleges.” Ez a felfogás elég nyilvánvalóan ellentétben áll saját korábbi realizmus által is befolyásolt nézeteivel, és figyelmen kívül hagyja azokat a kortárs filozófiai nézeteket, amelyek szerint például a tudat (gondolkodás) nem egy önállóan létező entitás, hanem egy funkció. Ezután a tanulmány az egyes személyek szigorúan elkülönülő világainak összehasonlítását tárgyalja (II. fejezet), ezen belül a nyelv, a beszéd kialakulásával (az utánzásnak tulajdonítja a fő szerepet), majd a megértés tökéletlen voltával foglalkozik, amelynek következtében lehetetlen valóban egzakt tudomány létezése (III. fejezet). A tanulmány második fő kérdése, hogy minek köszönhető az így összehasonlított világok egy részének (a külső világnak) megegyezése.

A válasz a védánta tanításban rejlik (IV. fejezet), és itt Schrödinger előre védekezik a misztika vádjá ellen, mégpedig úgy, hogy bizonyítja, az anyagi világ létének elfogadása is metafizikus és misztikus felfogás: „Az első fejtegetés szerint az anyagi világ hipotézise metafizikus jellegű, mert semmi megfigyelhető sem felel meg neki; a második szerint misztikus, mert két objektum (ok és okozat) között empirikusan jól megalapozott kapcsolat alkal-

mazását követeli meg olyan objektumpárra, amelyek közül csak az egyik (az érzékelés vagy akarat) érzékelhető vagy észlelhető valóban, míg a másik (az *anyagi* ok vagy *anyagi* eredmény) csupán képzeletbeli konstrukció.” A már ismert gondolatmenetben kifejti, hogy az elképzelhető két megoldás közül a leibnizi monadológia helyett a Védák filozófiáját választja: „... mi élőlények abban a tekintetben valamennyien együvé tartozunk, hogy valójában egyetlen lénynek a különböző oldalai vagy megnyilvánulásai vagyunk, amely lény nyugati terminológiával nevezhető istennek, a Védák viszont Brahmának nevezik. A hinduizmusban használatos hasonlat az a sok, majdnem azonos kép, amelyet egy sok lapu gyémánt egyetlen tárgyról, például a Napról ad.” Rendkívül nagyra becsüli e felfogás erkölcsi következtetéseit, amelyek röviden abban foglalhatóak össze, hogy mivel minden lény ugyanannak az egy lénynek a megnyilvánulása, aki ezt felismeri, az nem árthat más élőlényeknek (nem csak tudatosaknak!), mert tulajdonképpen önmagának ártana. Ez a szélsőséges – a növényekre is alkalmazott – „humanizmus”, mint vezérlő elv természetesen némi ellentmondásokkal terhelt, mint azt nyilván Schrödinger is látta, mégis kiállt mellette (Albert Schweitzerre hivatkozva). A védikus filozófia további tételeit – a lélekvándorlást, a karmát, a túlvilági igazságszolgáltatást, a tudás általi üdvözülést – már nem fogadja el (ahogy a hozzá fűződő rítusokat és babonákat sem). A mű utolsó néhány oldalán Schrödinger összefoglalja felfogásának lényegét, majd tulajdonképpen önmagával köt kompro-

misszumot, miszerint hajlandó elfogadni azt, hogy a külső világ hipotézise és az ő „egyetlen Lény”-feltételezése végső soron ugyanaz, sőt az előbbi természetesebb módon magyarázza a jelenségeket, míg az utóbbi lehetővé teszi az értelmetlenségek elfogadását is, mégis mivel az etikai következtetések könnyebben levonhatóak a másodikból, erre szavaz.

* * *

Reméljük, hogy kötetünk hozzájárul – a kissé talán különcknek és manapság némileg idegennek tűnő fizikus – Schrödinger megismeréséhez. Azt szeretnénk, ha a mai generáció is tudatában lenne annak, hogy a legnagyobbak mindig filozófiai és szakmai vívódásokon, ellentmondásokon keresztül jutnak el nagyon jelentős eredményekhez, amelyeket még ők maguk is csak egy állomásnak tekintenek a tudomány fejlődésében. Ehhez a tudáshoz Schrödinger természetfilozófiai nézeteinek tanulmányozása bizonyosan közelebb vihet.

Szegedi Péter