

## DESSZERTKÉNT NÉHÁNY ÉRDEKESSÉG A FIZIKA TÖRTÉNETÉBŐL\*

**Nagy Károly**

ELTE Elméleti Fizikai Tanszék, gluon@freemail.hu

Tisztelt Hallgatóság! Kedves Kolléganők és Kollégák!

Ami most következik, tulajdonképpen ismeretlen műfaj a számomra. Amikor a szervezők arra kértek fel, hogy tartsak egy vacsora-előadást, nem tudtam, hogy miről beszéljek, mert ilyenén még nem vettem részt. Arra gondoltam, hogy vacsorázás közben vagy azután fogok beszélni. Most pihentető érdekes eszmefuttatás kellene. Ezért adtam a fenti címet előadásomnak, és a fizika történetéből vettem érdekességeket, mert komoly szakmai előadást ilyen alkalommal tartani nem lenne illendő dolog. Egész délelőtt, majd délután is komoly munkával foglalkoztak, a vacsora közben valami könnyebb dologra vágynak. Ezért válogattam csemegéket. Ha kicsit előbb kezdhettem volna az előadást, akkor szakmai dolgokról is beszélnék, majd meglátom, hogy az idő mennyire engedi.

Bevezetésként elmesélem, hogyan kezdtem el foglalkozni fizikatörténettel az utolsó 9-10 évben. 1999-ben a MTA Fizikai Tudományok Osztályának egyik ülésén megemlítettem, hogy jövőre lesz száz éve annak, hogy *Max Planck* a hőmérsékleti sugárzás elméleti értelmezésére bevezette az energia kvantumosságára vonatkozó hipotézisét, és ezzel elindította a 20. század fizikáját. A fizika tudományának azt a csodálatos diadalmenetét, amely napjainkban is tart és nagyszerű eredményeivel egyrészt megtermékenyítette a rokon természettudományokat, másrészt a műszaki és orvosi alkalmazásaival nemcsak megváltoztatta a világról alkotott korábbi képünket, hanem megkönnyítette az emberek munkáját, átalakította életüket. Javasoltam, hogy emlékezzen meg a fizikus közösség néhány előadással Planckról és a kvantumhipotézis jelentőségéről. Tudjátok, hogy erre ilyenkor, mi szokott lenni a válasz? Igazad van, szervezz egy ilyen konferenciát. Ezt a konferenciát megszerveztem, s a felvezető előadást én tartottam olyan címmel, hogy „*Planck ajtót nyitott a 20. század fizikájára*”. Tanulmányoztam a kor fizikájának helyzetét és az éppen aktuális témákat, amelyek a kutatások tárgyát képezték. Így jutottam el Planckhoz és a kvantumhipotézishez. Ez olyan érdekes és izgalmas munka volt, hogy belegabalyodtam a huszadik század fizikájának történeti kutatásába. Tulajdonképpen azóta is ezt csinálom nagy élvezettel. A fizika fejlődésébe, vagy alakulásába öreg fejjel már nem fogok beleszólni, viszont ez, amit csinállok, egy nagyon szép intellektuális tevékenységet ad nekem. Az oktató munkámat is befolyásolja, mert ilyen típusú szemináriumot is tartok a hallgatóimnak. Úgy látom, hogy szép érdeklődés nyilvánult meg iránta. A következőkben is megpróbálkozom ezzel, mert még továbbra is szeretnék tanítani. Ha az Úristen is úgy akarja, akkor talán megy is, hiszen még csak 60 éve tanítok az egyetemen. Amit idáig mondtam ez volt a bevezető. Tehát így kezdtem én fizikatörténettel foglalkozni, és azóta tulajdonképpen szerelmes vagyok a 20. század fizikájába

---

\* A konferencia társasvacsoráján elhangzott előadás szerkesztett változata.

Sokat gondolkodtam, hogy miről beszéljek nektek. Úgy terveztem, hogy három részre bontom az előadásomat. Az egyik „Csemegék a fizika történetéből”. A nagyoknak - akik a fizika fejlődésének mérföldköveit lerakták a 20. században - fontosabb, korszakalkotó munkáiról fogok először szólni. Itt néhány érdekes anekdotát is elmesélek.

A második részben olyan fizikai problémák, vagy jelenségek megemlítését terveztem, melyeket én az egyetemi előadásaimban hangsúlyosan ki szoktam emelni, és úgy tapasztaltam, hogy a kollégáim közül nem mindenki helyezi ezekre a hangsúlyt, amikre én egy-két esetben határozottan ki szoktam térni. A legvégén szólnék, ha még lesz időm, a fizikaoktatás helyzetéről.

A fizikának ez a bámulatos alakulása úgy kezdődött, hogy 1900. december 14-én Planck tartott a Német Fizikai Társaságban egy előadást a hőmérsékleti sugárzás spektrális eloszlásáról. Itt arról van szó, hogy izzó testek által kibocsátott elektromágneses sugárzás intenzitása, vagy energiasűrűsége, hogyan függ a frekvenciától adott hőmérsékleten. Az elméleti számítások, amiket a klasszikus fizika alapján végeztek, nem egyeztek a mérési eredményekkel. Az alacsony frekvenciákra az eloszlási görbe, amely parabola alakú, és a *Rayleigh--Jeans-törvény* néven ismert, jól egyezett a kísérleti adatokkal. A nagy frekvenciákon exponenciálisan lecsökkenő görbe, az ún. *Wien-törvény* szintén jól illeszkedett a mérési eredményekből adódóval. De a közbenső frekvencia tartományban jelentős az eltérés az elmélet és kísérleti adatok között. Az elmélet sem a *Boltzmann statisztika*, sem a *Maxwell elmélet* alapján nem tudta visszaadni a tapasztalati görbéket. Planck az egyetem elvégzése után kezdetben hosszú ideig termodinamikával foglalkozott. A hőmérsékleti sugárzás problémájához is termodinamikai módszerrel nyúlt hozzá. Ő a tükröző falakkal ellátott üregben kialakult egyensúlyi sugárzás entrópiáját számította ki és ebből következtetett erre az eloszlásgörbére. Az első számításai ráillettek a tapasztalati görbére, de az elméleti magyarázattal még nem volt megelégedve. Két hónapos kemény munkával végül sikerült az elméleti magyarázatra is rátalálni. Mi volt ennek a lényege? A kérdéssel foglalkozó nagy elődök, különösen *Kirchhoff* és *Clausius* megállapították, hogy az energia frekvencia szerinti eloszlása független attól, hogy milyen anyag bocsátja ki, tehát anyagi minőségtől független. Most jött Planck nagyszerű meglátása: ha független az eloszlás az anyagi minőségtől, akkor olyan modell test választható sugárzó testnek, amivel tud számolni. Ilyen lehet például a lineáris harmonikus oszcillátor, vagyis a harmonikus rezgést végző tömegpont. Az volt az elgondolása, hogy ez a tükröző falakkal ellátott üreg tele van különböző frekvenciájú lineáris oszcillátorok rendszerével. Nem kellett mást tennie, mint az oszcillátorra kiszámítani az energia-eloszlást egyensúlyi állapotban. Ez egy nagy trükk volt végeredményben, hogy ezt a modelltestet vette. Természetesen, ha a klasszikus fizika alapján számolt, akkor a *Rayleigh-Jeans-törvény* jött ki neki is. Ekkor jött a mérész gondolata, ami a klasszikus fizikán nevelkedetteknek szinte istenkáromlásnak tűnt, Feltételezte, hogy az oszcillátor a hagyományos felfogással ellentétben nem folytonosan, hanem kis adagokban, kvantumokban bocsátja ki a sugárzást. Ugyanígy nyeli is el, mert az egyensúly azt jelenti, hogy időegység alatt átlagosan annyit bocsát ki, mint amennyit elnyel. Tehát adagokban bocsátja ki, és nyeli el. Akkor kapott jó egyezést az elméleti és a kísérleti görbék összevetésével, ha ezt az adagot, kvantumot arányosnak vette a frekvenciával. Az arányossági tényező egy hatás dimenziójú mennyiség volt, elnevezte *hatáskvantumnak*. Ma Planck tiszteletére *Planck-állandónak* nevezzük. Így alakult ki ez a szép Planck-féle görbe. Hozzáteszem, hogy Planck, még a Nobel-előadásában is (ezért kapott Nobel díjat 1918-ban) említette, hogy ő kezdetben úgy gondolta, hogy ez a kvantumhipotézis, miszerint az oszcillátorok energia kibocsátása és elnyelése kvantumos, vagyis kis adagokban történik, ez egy matematikai trükk, a valóságban az energia folytonosan változik. Ez volt neki a felfogása. Hogy ez a felfogás mennyi ideig tartott, nem lehet tudni. Mondok ezzel kapcsolatban egy érdekes dolgot. 1905-ben lépett

Einstein a fizika színterére. Öt híres dolgozatot jelentet meg 1905-ben, például a fényelektromos jelenségről szólót, de ugyanekkor jelent meg az un. speciális relativitáselméleti dolgozata is. Einstein a hőmérsékleti sugárzással kapcsolatban Planck munkájára hivatkozva azt mondja, hogy nem csak arról van szó, hogy az oszcillátor kvantumokban bocsátja ki az energiát, meg kvantumokban nyeli azt el, hanem maga a sugárzási tér, az elektromágneses tér energiája kvantált. Tehát az elektromágneses tér energiája  $h\nu$  nagyságú kvantumok összessége, mintha részecskék volnának. Sőt, tovább ment a hipotézisben Einstein és azt mondta, hogy ezeknek a részecskéknek impulzusuk is van.

Feltételezte, hogy  $\frac{h\nu}{c}$  az impulzusuk. Ha ez így van, akkor  $\frac{h\nu}{c^2}$  a tömeg,  $c$ -vel szorozva

ez pontosan olyan kifejezés, mint a részecskéknél, tömeg  $\times$  sebesség. Ez volt Einstein felfogása. A hőmérsékleti sugárzás energiájának frekvencia szerinti eloszlását kifejező, un. Planck-törvény mély fizikai tartalmát Einstein ismerte fel. Eszerint az elektromágneses

sugárzás energiája és impulzusa nem folytonos, hanem  $h\nu$  energiakvantumok és  $\frac{h\nu}{c}$

impulzuskvantumok összessége. Ezeket a részecsketulajdonságokkal rendelkező kvantumokat nevezzük fotonoknak. Ezzel magyarázta meg a fényelektromos jelenséget, amiért 1921-ben megkapta a fizikai Nobel-díjat. Ezt most nem részletezem, csupán arra utalok, hogy a fényelektromos jelenség végeredményben a mai technikában, a mobiltelefonokban, meg a TV kamerákban kap igen lényeges szerepet. Most visszatérnék még Planckhoz. Planck 1913-ban, tehát a kvantumhipotézis után 13 évvel, három professzortársával együtt javasolta Einsteint a Porosz Tudományos Akadémia tagjának. Az ajánlásban szerepel Einsteinre vonatkozóan a következő mondat: *spekulációiban néha szeret túllőni a célon, mint például a fénykvantum hipotézisével, de ezt nem rójuk fel neki.* Ez 1913-ban volt. Tehát 13-ban Planck még mindig úgy gondolta, hogy amit ő 1900-ban kitalált, az egy matematikai trükk volt. Aztán később, amikor már Nobel díjat kapott elmondja, hogy hosszú törekvés eredménye lett az, hogy a hatáskvantumot sikerült neki beilleszteni a fizika kereteibe.

Ugrok egy nagyot, hogy hasonló csemegéket mondhassak. 1913-ban színre lépett *Niels Bohr* az atomelméletével. Ezt nem ismétlem most el, de a fizikai gondolkodásra gyakorolt hatását azért kihangsúlyozom. 1913-tól egészen 1924-ig a Bohr elmélet jelentette másfél évtizeden át a kvantumelméletet. Nagyon sok szép eredményt hozott, de nagyon sok problémát is eredményezett. Legnagyobb sikere az volt, hogy az atomok vonalas színképét meg tudta magyarázni. Ha a *Pauli-elvet* is figyelembe vesszük, a periódusos rendszerre is értelmezést tudott adni. De az intenzitásokat már nem magyarázta meg, sőt hidrogéneken kívül már a hélium energiaállapotait sem tudta pontosan értelmezni. De új gondolkodást vitt be az atomfizikába. A Bohr elméletet *Arnold Sommerfeld*, általánosította ellipszis pályákra a relativisztikus hatások figyelembe vételével.

Sommerfeldnek emellett fontos szerepe volt abban is, hogy a tudományos pályán akkor induló, a modern fizika alakításában meghatározó szerepet kapott fiatal fizikusok közül *Werner Heisenberg*nek és *Wolfgang Paulin*ak tanító mestere volt. Ő vezette be őket a kvantumfizikába. Heisenberg első tudományos feladata, amit Sommerfeldtől kapott, az volt, hogy egy *Zeemann*-spektrumot kellett értelmeznie a Bohr-elmélet alapján. Ezt csak úgy tudta értelmezni, ha feltételezte, hogy az atom impulzusnyomatéka a  $h$ -nak feles többszöröse. Megmutatta Sommerfeldnek, aki azt mondta rá (kicsit pongyolán fejezem ki magam), hogy marhaság. Tehát egyszerűen nem foglalkozott vele. Ez azért volt, mert akkor még nem ismerték az elektron spinjét, ami  $\hbar/2$ . Ha Sommerfeld komolyan veszi, amit Heisenberg csinál, akkor Heisenberg már 1924 táján felfedezhette volna a spint.

Megyek tovább. A Bohr elmélet azt mutatta, hogy a gondolkozásban teljesen el kell szakadni a klasszikus fizika gondolatvilágától, itt valami egészen új történik az elméletben. Egy kiváló elméleti fizikus és tudománytörténész, úgy hívják az urat *Abraham Pais*, a következőt írta egy visszaemlékezésben, hogy talán Einstein volt az egyedüli, aki a fény energiájának kvantumhipotézisében 1923-ig komolyan hitt. Senki más nem vette ezt komolyan.

Ismét ugrok egy nagyot. Ez még csak a kezdet volt. 12 évet kellett még várni, míg a mikrovilág tényleges viszonyait felismerték, és meglepően új magyarázattal álltak elő. Heisenberg tette meg az első lépést 1925-ben azon az úton, amely a kvantummechanika kiépítését eredményezte. Bohrnál volt tanulmányúton, és részt vett abban a munkában, amit akkor Bohr, *Slater* és *Kramers* csináltak. Ők a diszperzió jelenségét vizsgálták, és annak kapcsán jött Heisenbergnek a gondolata, hogy az elméletben csak olyan mennyiségeket szabad használni az atomokra és mikrorészecskékre, amelyek megfigyelhető mennyiségek. És azt mondta Heisenberg, hogy az atomokban az elektron pályája nem figyelhető meg, ezért ezt a fogalmat nem kell használni. Ravasz módon a koordinátákat is meg az impulzusokat is, amikor ilyen számításokat végzett Fourier integrál alakjában írta föl és a Fourier együtthatókra kitalált egy számítási eljárást, hogyan kell azokat manipulálni, hogy a végeredmény jól jöjjön ki. Magyarul, egy számítási eljárást adott meg és abból az derült ki, hogy bizonyos fizikai mennyiség párokra az  $ab$  szorzat nem egyenlő  $ba$ -val. Tehát ezek az együtthatók nem követik a szorzási művelet kommutatív szabályát. Ezzel nagyon szépen értelmezni tudta azt a jelenséget, amit vizsgált. Megmutatta Bohrnak, Bohr csodálkozott rajta, Einstein meg azt mondta, hogy egyáltalán nem hiszi el az egészet. Addig nem is hitték el, míg *Pauli* ki nem számította ezzel a módszerrel a hidrogénatom energiaspektrumát, ami nagyon jól egyezett azzal, amit már korábban kiszámítottak a Bohr elméletben. Heisenberg akkor Göttingenben dolgozott Max Born mellett. Tőle tudta meg, hogy ezek a szimbólumok, amiket ilyen furcsán, a szorzás nem kommutatív szabálya szerint használ, végeredményben mátrixok. Így született meg a mátrixmechanika. Nem folytatom tovább, de egy tudománytörténeti érdekességet még elmondok ezzel kapcsolatban. A dolgozat publikálása után meghívták Heisenbergét Berlinbe, hogy tartson róla egy előadást a Német Fizikai Társaság ülésén.. Előadásában hangsúlyozta, hogy csak olyan fogalmakat szabad használni az atomfizikában, amelyek megfigyelhetők. Az elektron pályája nem ilyen. A hallgatóság körében volt több neves tudós, többek között Einstein is, aki az előadás végén azt kérdezte Heisenbergtől, hogy kedves fiatalember, mondja meg honnan veszi ezt a filozófiai felfogást, hogy csak azokat a mennyiségeket szabad használni, amelyek megfigyelhetők? Heisenberg azt válaszolta, hogy Einsteintől veszem, mert amikor Einstein az étert kitörölte a fizika fogalomvilágából, ugyanazt tette. Erre Einstein azt válaszolta, hogy akkor is nonszensz.

Így kezdődött a kvantummechanika. Kezdetben mátrixmechanikának nevezték. A kollégák ezt mindnyájan tudják, de ha ezt elmondjuk a fizikában nem nagyon járatos embernek, még ha értelmiségi is, mondjuk orvos, vagy jogász, vagyis, hogy a szorzás nem követi az atomfizika bizonyos mennyiségeire a szorzás kommutatív szabályát, akkor azt fogja mondani, hogy valami baj van ezekkel a fizikusokkal. Ez meglehet, de így indult el a huszadik század leghatásosabb fizikai elmélete, a kvantummechanika. *Erwin Schrödinger* és *Paul Dirac* nevét még meg akarom említeni. Schrödinger Heisenberg után fél évvel, *Louis de Broglie* ötletét felhasználva, hullámoptikai analógia alapján jutott egy differenciálegyenlethez, amelynek reguláris megoldásai megegyeznek Heisenberg mátrixmechanikai eredményével. Már Schrödinger megmutatta a két tárgyalásmód egyenértékét, de a nagyon elegáns és pontos matematikai megalapozást és a kettő egyenértékűségét Dirac és a magyar *Neumann János* adta meg. Dirac még ösztöndíjas volt *Fowler* nevű angol fizikusnál, aki statisztikus fizikával foglalkozott, de olvasta Heisenbergnek a dolgozatát, és odaadta Diracnak. Dirac

fellelkesesedett rajta, és azonnal elkezdte Heisenberg dolgozatát tanulmányozni. Felismerte, hogy a kiindulásul szolgáló alapegyenletek szoros kapcsolatba hozhatók a klasszikus mechanika *Poisson* zárójeles kifejezéseivel. Azért tereltem a szót Diracra, mert el akartam mondani, hogy végeredményben a matematikai megalapozását Neumann János mellett Dirac csinálta meg. Tehát tulajdonképpen úgy is kifejezhetem magamat, hogy az egész kvantummechanikát, amely akkor Heisenberg és Schrödinger nyomán alakult ki, matematikai szempontból Dirac rázta gatyába. Pontosán megmutatta, hogy a Schrödinger-féle változat, meg a Heisenberg-féle változat között az a különbség, hogy a fizikai mennyiségekre milyen reprezentációt használunk. Az egyik mátrixokat használ, a Schrödinger-féle pedig differenciáloperátorokat. Ettől kezdve nevezzük e kettőt közös néven kvantummechanikának.

Felmerül a kérdés, hogy milyen új eredményeket hozott a kvantummechanika? A legelső és legnagyobb sikere a következő volt. Meg tudta magyarázni az ún. kémiai kötést. Tehát hogy semleges atomok, hogyan alkotnak molekulákat. Például két hidrogénatomnak, hogyan lesz kötött állapota, egy  $H_2$  hidrogén molekula. Ez volt az egyik kezdeti leghatásosabb eredménye. A másik eredmény, hatását és a jövőt illetően még nagyobb volt. A kvantummechanika alapján megvizsgálták, hogy a különféle anyagoknak milyenek a vezetési tulajdonságai. Ennek alapján fedezték fel, vagy ismerték föl az ún. félvezetőket. Egy *John Bardeen* nevű amerikai fizikus (talán két, vagy három évvel ezelőtt halt meg) a kvantummechanika alapján ismerte föl a tranzisztor-elvet, és egy munkatársával meg is csinálták a tranzisztort. Hárman, a munkatársa, meg a főnökük végül is ezért kapták meg a Nobel díjat. (Marx György azt is megemlítené, hogy Bardeen *Wigner Jenőnek* volt a doktorandusza.) Ide kívánczok az a megjegyzés is, hogy Bardeen volt az egyetlen, aki két fizikai Nobel-díjat kapott. A másikat szintén hárman kapták a szupravezetés elméletéért. Hogyan alakult az egész tovább? Jött a mikroprocesszor, aztán jött az elektronikai ipar, az egész óriási fejlődési örület, ami ma a szórakoztatóiparban, számítógépekben, mobiltelefonokban, digitális fényképező gépekben és kamerákban, vagy az űrrepülőgépek irányító központjában van, az mind innen indult el.

Bardeennel kapcsolatban még el akarom mondani, hogy alakult az első Nobel-díja. 1946-ban találta ki Bardeen a tranzisztor-elvet, egy munkatársával és a főnökével együtt, hárman kapták érte a Nobel-díjat. Ahogy ez általában szokott lenni, a főnököt interjúvolták meg. Ő szépen elmondta, hogy mit csináltak. Aztán végül annyira betekeredett ez a főnök, Shockleynek, hogy a végén már ő is azt hitte, hogy ő találta ki a tranzisztor-elvet. Bardeen ebbe élete végéig nem tudott belenyugodni. A fizikai Nobel díjak kiosztásánál ilyen furcsaságok másnál is voltak, nem csak a Bardeen esetében. Említettem Max Bornnak a nevét, aki egy időben Heisenbergnek volt a főnöke. A kvantummechanikának a valószínűségi értelmezését, nevezetesen, hogy az állapotfüggvénynek mi a statisztikus jelentése, azt Max Born találta ki. Tanítványai közül sokan, Heisenberggel kezdve, megkapták a Nobel-díjat, és meg sem említették Bornnak a nevét. Egyedül Heisenberg említette meg illő módon, mikor megkapta a Nobel-díjat 1932-ben. Max Born csak huszonegy évvel később, 1954-ben kapta meg. Tehát hosszú ideig kellett neki várni, és eléggé elkeseredett volt miatta.

A kvantummechanikáért osztott Nobel-díjakkal kapcsolatban van még egy érdekes történetem. Az 1932-es díjra vonatkozóan több javaslat volt. Azt mondják, hogy Einstein nagyon szerette volna Schrödingert díjazni, de végül mégis Heisenbergnek ítélték oda az 1932-es Nobel-díjat. Mivel nagy vita volt a bizottságban, ezért úgy döntöttek, hogy Heisenberg kapja a 1932-es Nobel-díjat, de nem adjuk neki most oda, majd csak jövőre. Nem tudom, mi volt ebben a logika, de nem adták neki oda. A 1933-as Nobel-díjnál Schrödinger volt az esélyes. Igen ám, de a fizikai Nobel-díj bizottságban egy olyan elméleti fizikus volt, aki nem ismerte a kvantummechanikát. A klasszikus fizika valamelyik területével

foglalkozott, de neki volt egy tanítványa, aki akkor éppen Cambridge-ben volt Diracnál tanulmányúton. Dirac ekkor már professzor volt. Amikor hazament elmondta, hogy Dirac micsoda csodálatos fizikus. Az egész kvantummechanikát, amit Schrödinger és Heisenberg csinált, azt ő tette matematikailag tökéletessé. Sőt, a kvantummechanika relativisztikus alakját is ő alkotta meg. A kvantumelméletnek az elektromágneses térre történő kiterjesztésénél is vezető szerepe volt. Tehát elmondta, hogy milyen csodálatos fizikus ez a fiatal Dirac. Erre azt mondta a főnöke, hogy jó, akkor ő is kap egy Nobel-díjat. Dirac úgy csúszott be 1933-ban a Nobel-díjra, hogy ezt egy tanítvány elmesélte a főnökének. Természetesen nem fér kétség hozzá, hogy nagyon is megérdemelte. Mikor megkapta a Nobel-díjról szóló értesítést, azt mondta *Rutherford*nak, hogy nem veszi át a díjat, mert nem érdemli meg, másrészt tartott attól az újságírói felhajtástól, ami ezt követi. Diracra ez nagyon is ráillett, mert nagyon szerény ember volt. Rutherford azt válaszolta: rendben van, sokkal nagyobb felhajtás lesz, ha nem veszi át, jobban teszi, ha mégis átveszi. Így történt, hogy az 1933-as fizikai Nobel-díjat Schrödinger és Dirac megosztva kapta. Heisenberg is 1933-ban vette át az előző évi díjat.

Két dolgot említek még meg, amelyek a történeti érdekességek közé sorolhatók. Az egyik a kvantummechanika statisztikus értelmezéséhez kapcsolódik. Az atomi rendszerek állapotát a kvantummechanikában egy komplex függvénnyel, a Schrödinger-féle állapotfüggvénnyel jellemezzük. Max Born nevéhez fűződik ennek fizikai értelmezése, miszerint abszolútérték négyzete adja meg annak valószínűségi sűrűségét, hogy a vizsgált atomi rendszert ebben az adott állapotban találjuk egy elvégzett mérés alkalmával. A kvantummechanika e statisztikus vonása miatt nem determinisztikus elmélet, szemben a klasszikus fizika két ragyogó elméletével, a mechanikával és a Maxwell-féle elektrodinamikával. Az elméletnek statisztikus értelmezését nemcsak Einstein nem fogadta el, de sem Planck, sem Schrödinger nem értett vele egyet. Heisenberg Einstein halála előtt fél évvel, amerikai körútja alkalmával meglátogatta Einsteint, és próbálta őt meggyőzni a kvantummechanika valószínűségi értelmezéséről, eredménytelenül. Van ezzel kapcsolatban egy idézetem, amit el szeretnék még mondani. Born és Einstein közötti levélváltás során Einstein azt írta Bornnak, hogy „*a kvantummechanika csodálatos eredményeit elismerem, de valami belső érzés azt mondja nekem, hogy ez még nem az igazi. Még messze vagyunk az Őreg gondolataitól. Nem hiszem, hogy kockajátékos lett volna*”. Ezt ugye az Úristenre gondolta. Schrödinger abba is hagyta a fizikával való foglalkozást. Egy kitűnő könyvet írt az élet keletkezéséről, amelyen persze túlmént ma már a tudomány, de a genetikusok ma is alapkönyvként emlegetik.

Hosszúra nyúlt mondókámat, most már illik befejezni, pedig még lenne néhány érdekes történetem. Utolsóként egyet még elmondok *George Gamow* és két fiatal munkatársa, *Ralph Alpher* és *Róbert Herman*, 1948-ban kitalálták, (a Nagy Bumm-elmélet már megvolt), hogy a Világegyetem kezdeti állapota forró izzó test lehetett. Az általa kibocsátott ún. hőmérsékleti sugárzás nyomait  *kozmikus háttér sugárzasként* észleljük ma is. A táguló izzó test közben lehűlt, és kb 300000 évvel a Nagy Bumm után a fotonok már nem tudtak a közben semleges atomokká összeállt plazmarészecskéken szóródni, akadály nélkül száguldanak a világűrben. A Világegyetem ettől kezdve átlátszóvá vált, és a sugárzás azóta is kitölti a Világegyetemet. Az adiabatikus tágulás miatt persze közben lehűlt és ma kb. 2,73 Kelvin a hőmérséklete, ami a Nagy Bumm után kb. 300000 évvel 3000 fok lehetett. A tavalyi fizikai Nobel díjjal éppen annak igazolását jutalmazták, hogy a kozmikus háttér sugárzás frekvencia szerinti eloszlása követi a Planck-törvényt. Gamowék elméletével szemben volt egy másik elképzelés az irodalomban, ami *Fred Hoyle* nevű angol csillagásztól származik. Eszerint a Világegyetem állapota állandó. A tágulás során ritkul ugyan, de közben éppen annyi anyag keletkezik, ami az állandóságot biztosítja. A Nagy Bumm elnevezést Hoyle találta ki Gamowék elméletére tulajdonképpen gúnynévként. A történet majdnem két

évtizeddel később két amerikai rádiócsillagász *Arno Penzias* és *Robert Wilson* kísérleti felfedezésével folytatódott. Penzias az egyetem elvégzése után rádiócsillagászzal foglalkozott a Bell Laboratóriumban. Ezt a laboratóriumot azért említem meg, mert ez ugyan ipari kutatásokkal foglalkozó laboratórium, de lehetőség van nem kimondottan ipari kutatásokra is. Említettem, hogy Bardeen is itt dolgozott. Penzias rádiócsillagászati kutatásokat végzett. Volt ott egy olyan ürteleszkóp, amellyel a Telstarra (ez volt az első távközlési műhold) vonatkozó vizsgálatokat végeztek. De ekkor már nem használták Penzias, Robert Wilson nevű kollégájával ezt az antennát kezdték használni, hogy tanulmányozzák a galaxisok közötti anyagtól hozzánk érkező sugárzást. A rádióhullámok tartományában végezték a vizsgálatot. De nem sikerült nekik, mert akkora volt a zaj, hogy nem volt éles a keresett jel. Megpróbálták javítani az antennát. Tisztították, más felé fordították, de akármerre fordították az antennát, a zaj mindig megvolt. Azt írják a visszaemlékezéseikben, hogy lettek volna olyan kutatók, akik ezzel a zajjal nem törődnek, mert ez nem volt olyan nagyon nagy. Ma ezt a zajt mindenki tudja fogni. Bekapcsolja a rádióját, és ha nincs állomáson, akkor ezt hallja. Ma már tudjuk, de akkor még ők nem tudták ezt. Nem hagyta őket nyugodni a zaj. Mi lehet ennek az oka? A történethez hozzátartozik, hogy az antennába befészkelte magát egy galamb pár. Azt gyanították, hogy a fehér dielektrikumtól, (magyarul azt mondanánk, hogy a kakájuktól) van a zaj. A galambokat becsomagolták és a Bell Laboratórium egy másik helyére küldték el. Közben egy konferencián (a hatvanas évek elején) a Massachusetts Institute-beli kollégától hallotta, hogy Princetonban egy *Dicke* nevű fizikus (aki az Eötvös kísérletet is finomította) egy másik kollégával, elméleti úton kitalálta a kozmikus háttérsugárzást. Pontosabban szólva, arra jöttek rá, hogy léteznie kell ilyen sugárzásnak, és most azon törik a fejüket, hogy megpróbálják ezt kísérletileg ellenőrizni. (Ezek szerint nem tudtak Gamowék korábbi elméletéről.). Penzias ekkor rájött, hogy ők éppen ezt találják zajként. 1965-ben publikálták az eredményüket, és ekkor történik a dolog pikantériája, mert a szakirodalomban azt emlegették, hogy Dicke fedezte fel a kozmikus háttér sugárzást és Penziasék ezt mutatták ki. Mindenki elfelejtette, hogy Gamowék már 15 évvel korábban kitalálták a kozmikus háttérsugárzást. Egyedül Penzias volt tisztességes, mert amikor 1978-ban Wilsonnal együtt megkapták a Nobel díjat, megemlítette Gamowék eredményét, és akkor egy köszönőlevelet is írt Gamownak. Erre Gamow válaszolt, és felajánlotta korábbi kutatásaiknak részletes leírását, de azért a következő fanyar megjegyzést is odaírta: "Most Ön is meggyőződhet arról, hogy a világ nem a mindenható Dicke-vel kezdődött."

Tisztelt Kolléganők és Kollégák! Köszönöm szépen, hogy volt türelmetek mindezt meghallgatni. Amit a bevezetőben ígértem, nem teljesítettem, mert sok másról is akartam beszélni, amik az elmondotknál még fontosabbak, és tanulságosabbak lettek volna. Ha legközelebb összejöttök, akkor majd folytatom, ha élek. Áldás, Békesség!