

Nanorendszerek Tudományos Intézetének (CNSI). Szakmai tevékenysége során közel 300 doktori és posztdoktori kutatót irányított. Önállóan és kutatótársaival több mint ezer tudományos közleményt jelentetett meg neves szakfolyóiratokban. A világon a tudományos szakirodalom három legidézettebb tudósa között található. Számos elismerést, kitüntetést kapott szakmai megvalósításainak elismeréséül.

Bernard Feringa 1951. május 18-án született Hollandiában a német határ szomszédságában levő Barger Campusculus családi farmjukon, egy tízgyermekes családban. Gyermekkorát a farmon töltötte. Kémiát a Groningeni Egyetemen tanult, kitüntetéssel végezve 1974-ben. Ugyanott doktorált (1978), majd Angliába ment tanulmányútra. Visszatérve 1984-től a Groningeni Egyetemen dolgozott, 1988-tól a szerveskémia professzoraként. Sztereokémiai-, fizikokémiai (fotokémia, homogénkatalízis, enantiomer-szelektív katalízis), nanotechnológiai fejlesztésekkel foglalkozik. 1990-ben előállította az első fényelvezérelhető molekuláris motort, majd molekuláris autót. A molekuláris kapcsolók sokféleségét alakította ki (pl. fényelvezérelhető DNS molekula, ami memóriatárolóként használható, nanoméretű hatóanyag adagoló, fényelvezérelhető fehérjecsatornák stb.).

Több mint 30 találmánya van, 650 tudományos közleménye jelent meg. Nagy számú, nála doktoráló kutató munkáját irányította. Tudományos munkásságának elismeréséül számos tudományos társaság és akadémia tagjául választotta, jelentős tudományos díjakban részesült.

Forrásanyag:

- Wikipedia: A 2016-os élettani-orvostudományi, fizikai, kémiai Nobel-díjak
- [mno.hu/tudomány/kémiai Nobel-díjat érték az első nanogépek-1364937](http://mno.hu/tudomány/kémiai-Nobel-díjat-érték-az-első-nanogépek-1364937)
- steamconnect.org/fraser-stoddart-mingling-art-with-science/
- www.org.chem.org/yuuk/catenane_en.html
- [www.origo.hu/tudomány/20161004-kiosztották 2016-os-fizikai-nobel-díjat.html](http://www.origo.hu/tudomány/20161004-kiosztották-2016-os-fizikai-nobel-díjat.html)
- mno.hu/orvostudomány/orvosi-nobel-dij-az-autofagiaert-1364530
- www.ng.hu/Tudomany/2016/10/03/Orvosi-Nobel-dij-2016
- http://www.atomcsill.elte.hu/letoltes/foiak/5_evf/atomcsill_5_09_Derenyi_Imre.pdf

M. E.

A kvantumelmélet furcsaságai

Bevezető

Az új elmélet egy régiből indul ki. Ha a régi elmélet már nem tudja az új jelenséget magyarázni, szükséges a váltás.

A fizika konzervatív, ez is az oka hitelességének, és tette nagyhatalommá, mert csak nagyon jól ellenőrzött tényeket fogadott el, nem hagyta magát elvarázsolni az újdonságoktól.

A fizikában minden változtatás nehézkes, lassú, többszörösen ellenőrzött. Elsőként az új tényeket a fizikusok megpróbálják a régi elmélettel összhangba hozni. Sokszor sikerül, de amikor nem, az azt jelenti, hogy valami nagyon fontos, jelentős dologba tenyereltek bele.

Említhetném a fényelektromos jelenséget, vagy a fekete test sugárzását a termodinamikából, amiből következik, hogy a fény úgy is viselkedhet, mint egy részecske nyaláb. Vaskalapos fizikusainknak sehogyan sem sikerült a fényelektromos jelenséget a fény hullámjellegével magyarázni, tehát kénytelenek voltak elfogadni annak részecske jellegét is.

Szeretném eleve leszögezni, hogy a fény hullámtermészetét senki sem cáfolta meg, az azt igazoló jelenségek, tények (hulláminterferencia, diffrakció, polarizáció) ma is érvényesek, kimutathatóak, igazolják a fény hullámtermészetét. A részecske jelleg pluszba jelentkezik, a hullámjelleg mellett.

Eddig értem ez alatt a XIX. század végét, a XX. század elejét, lényegében két mozgásféleséget különböztettünk meg, az anyagi pont mozgását és a hullámmozgást. Senki nem eszébe nem jutott a kettőt összekeverni, vagy egyesíteni, mert olyan különbözőeknek tűntek.

Az anyagi pont mozgása esetében (a szilárd merev test mozgása ettől lényegesen nem különbözik), az anyag (tömeg) mozog a térben, érkezik az egyik pontból a másikba. Továbbbítódik az anyag, az energia, az impulzus. Mozgás közben eme pont lokalizálható, az egymást követő helyzetei megkülönböztethetők, nem egybefolyók, és ebben az értelemben, mozgása nem teljesen folytonos jelenség.

Az anyagi pont mozgása jellemezhető a pályával, amely egy görbe, matematikai értelemben folytonos. Ezt a pályát a dinamika második alaptörvényéből számoljuk ki (erőhatások törvénye), felhasználva az anyagi pont tömegét, a rá ható erőket és a kiinduló állapotban a helyzetét (koordinátáit) és a kezdősebességét. A pálya ismerete lehetővé teszi az anyagi pont későbbi helyzeteinek, állapotainak a meghatározását.

A hullámmozgás az a „mozgás” mozgása. Egy rugalmas közegben a rezgőmozgás adódik tovább pontról pontra. A terjedési sebessége csak a közegtől függ. E mozgást jellemző jelenségek visszaverődés, hullámtörés, interferencia, diffrakció (elhajlás) és a polarizáció.

A hullám, ellentétben az anyagi pont mozgásával, egy folytonos jelenség, nem jellemezhető egy pályával, mert egy idő után betölti az egész rendelkezésre álló teret, a terjedés miatt a közeg minden pontja rezegni fog.

A fentiekből is látható, indokoltnak tűnt az elképzelés, hogy ez a két mozgás kizárja egymást, ahol az egyik jelen van, nem lehet jelen a másik is, valamint vagy az egyik vagy a másik. Mint Örkény István Tóthék című darabjában a dili postás dilemmája, aki a konfliktus ártatlan okozója. Ő próbált meg egyszerre ülni és állni is (két egymást kizáró állapot), mivel feloldhatatlan ellentmondásról van szó, őt be is vitték az „ideges” klinikára.

Szimmetria megfontolásokból (fontos!) de Broglie arra a következtetésre jutott, hogy ha az eddig hullámnak ismert fény részecske tulajdonságokat mutat, akkor az eddig részecskének ismert fizikai entitások (pl. az elektron) mutathatnak hullám tulajdonságokat.

Az elképzelést fényesen igazolta két kísérletező, Davisson és Germer, akik diffrakciót és az azt követő interferencia képet (maximumok és minimumok) mutattak ki, egy, a fémrács (diffrakciós rács) visszaverődött elektronnyaláb esetében. Mivel diffrakció, és interferencia csak hullámok esetében jön létre, következik, hogy az elektronnyaláb hullámként is viselkedik, mint ahogy ebben a kísérletben látható.

Miután a fény és az elektronok esetében is, mindkét jelleg meglétét kísérletileg is igazoltuk, két út állt előttünk. Vagy követjük a dili postást, és bevonulunk az „ideges” klinikára, vagy megpróbáljuk a két dolgot valahogy egybe gyúrnunk.

Mitől hullám a részecske

Mielőtt még rendet próbálunk teremteni ebben a kísérletileg igazolt „lehetetlen” helyzetben, összegezzük, amit biztosan tudunk.

- Mind a fénynél, mind az elektronnál (de más részecskénél is) találkozunk mind a részecske, mind a hullámjelleggel.
- Nincs olyan kísérlet, amelyben mindkét jelleget egyszerre ki lehetne mutatni. Megpróbáltak ilyet elképzelni, de úgy tűnik, még gondolatkísérlet alakjában sem létezhet, hát még, mint valós, elvégezhető kísérlet. Magyarán, el sem tudunk képzelni egy ilyet, nemhogy létrehozni.

Talán, egyedül egy részecske, részecskeként viselkedik, és sok részecske együtt hullámként, vagyis a hullám kollektív tulajdonság. Ezt aránylag egyszerűen elvégzett kísérlettel eldönthetjük. El kell végezni egy diffrakciós kísérletet, de úgy, hogy a rácsra egyenként engedjük az elektronokat. Nem könnyű elvégezni, de lehetséges. Hosszú ideig tart, mert kis intenzitású elektronnyaláb szükséges, hogy az elektronok egyesével érjenek a rácsra. A diffrakciós kép (maximumok és minimumok) ugyanaz, függetlenül attól, hogy az elektronok egyesével érkeznek, vagy egyszerre zúdítjuk őket a rácsra. A következtetés egyértelmű, az elektronok egyesével is ugyanolyan hullámként viselkednek, mint nyalámban. Tehát, a hullámjelleg nem kollektív tulajdonság.

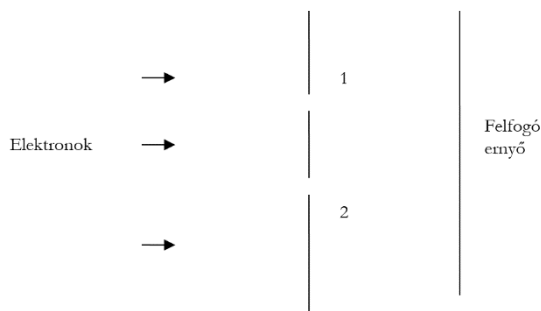
A Young-berendezés (lásd ábra), lényegében Davisson és Germer által végzett kísérletekben használt alapokon működik. Itt azonban két, egymáshoz nagyon közel eső rés van az elektronok útjában. A két résre elektronhullám esik, a mögötte elhelyezkedő felfogó ernyőn

egy (maximumokból és minimumokból álló) interferencia képet kapunk, lesz hely ahová több elektron érkezik (maximum), és lesz olyan, ahová kevés elektron kerül (minimum).

Világos, hogy egy elektron, mint részecske, vagy az egyik, vagy a másik résen megy keresztül. A kísérlet során letakarva az egyik részt, a felfogó ernyőn kapunk egy képet, majd letakarva a másikat, újból kapunk egy képet. Ha mindkét rés nyitva van, a részecske-logika szerint a két előző kép összegét kell kapnunk.

A tapasztalat az, hogy egy egészen más képet kapunk. Honnan tudja az elektron, amely az első résen (1) megy keresztül, hogy a másik (2) nyitott-e, avagy zárt? „Tudnia” kell, mert más és más képet hoz létre, máshová kerül az elektron, ha a második rés is nyitott (interferencia kép rajzolódik ki), mintha zárt lenne. Azt kell hinnünk, hogy a szóban forgó elektron mindkét résen átmegy, ami részecskeként elképzelhetetlen, de hullámként természetes, a hullám nem lokalizált, betöltheti a teret.

Persze, azt is képzelhetjük, hogy az elektron mindkettő, részecske is meg hullám is, csak azt nem tudjuk hogyan egyeztethető össze ez a két, látszólag egymást kizáró dolog. És itt jön a szimpla, magától értetődő megoldás.



Young berendezés keresztmetszete

Mint minden zseniális elképzelés, ez is pofonegyszerű. N. Bohr oldotta meg a problémát, a komplementaritás elvének a kijelentésével. Veretes, latin nyelven fogalmazta meg: „Contraria non contradictoria, sed complementa sunt”.

Mint minden latin szöveg, ez is nagyon tömör (ők még latinul is tudtak), nehezen fordítható, de nagyjából azt jelenti: „Az ellentétek nem ellentmondóak (ellentmondások, egymást kizárók), hanem egymást kiegészítők”.

A hullám és a részecske természet nem kizárják egymást, hanem kiegészítik. Vajon mi-vé egészítik ki egymást? Ugye milyen érdekes, hogy eleve ezt a két mozgást szúrtuk ki?

A kísérlet azt bizonyítja, hogy mennél szembeötlőbb az egyik jelleg egy kísérlet során, a másik jelleg annál elmosódottabb. Egyszerre nem látszik mind a kettő. Itt esik le a tantusz. Persze, hogy a tantusz, a telefonérme, illetve minden érme. Az éremnek két oldala van, ahogy régen mondták, a korona (a címer, a fej) és a fillér (az írás). Érem egyik nélkül sincs, együtt alkotják az érmét, de egyszerre csak az egyiket láthatjuk. A magyarázat szempontjából szerencsének számít, hogy van szavunk az érme fogalmára.

Ha egy kicsit szétnézünk egyéb, jobban, vagy kevésbé sikerült példát is tudnánk adni a fenti állapotr.

Az embernek, mint fogalomnak is két megjelenési (konkrét) alakja van, a férfi, illetve a nő. Ketten, együtt alkotják az embert, egyik a másik nélkül huzamosabban nem létezhet, egyszerre senki sem lehet teljes értékű férfi, illetve teljes értékű nő. Itt ugyan meg lehetne említeni egy klasszikus ellenpéldát, Néró-t, aki állítólag a nőknek férfi volt és a férfiaknak nő, de azt kétkem, hogy teljes értékű nő lett volna, tudniillik nincs tudomásom arról, hogy szült volna. De ne menjünk ilyen messzire.

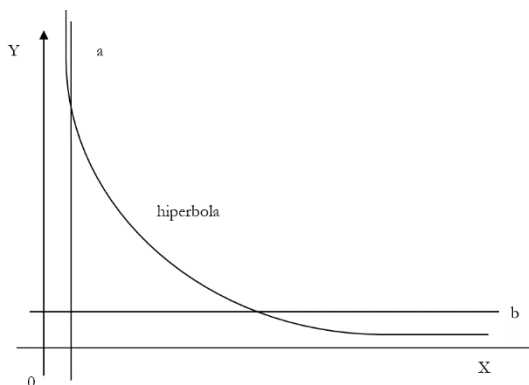
Különb, minden összehasonlítás, analógia, hasonlat, hamisítás, még a mindennapi életben is, hát még a kvantumfizikában! Hiába keresünk mechanikai modelleket a kvantumfizikai jelenségekre, csak hamisítás árán találhatóak. A fenti példák, legfeljebb rávilágítanak a lényegre, de nem tekinthetők a dolgok lényegének.

Illusztráljuk az adott helyzetet egy matematikai modell segítségével is. A tapasztalat azt mutatja, hogy a használható modellek csak matematikaiak lehetnek, sajnos, vagy „hála Istennek”, nem tudom.

Ne tessék megijedni, nem ereszkedünk le a matematika pokoli bugyraiba, csak felülről érintjük azokat, mint fecske ivás közben a víz felületét.

Vegyük a hiperbola egyik ágát, úgy ábrázolva, hogy az aszimptotái egyúttal a koordináta rendszer tengelyei is legyenek. Legyen az **a** egyenes párhuzamos az OY tengellyel és a **b** egyenes párhuzamos az OX tengellyel.

Első látásra is világos, a hiperbola nem egyenes, hanem egy görbe. Ha a hiperbolának az a egyenestől balra eső részét veszem, ahol az X értéke nagyon kicsi, más szóval tart a nullához, az egy kis jóindulattal egy OY tengellyel párhuzamos egyenesnek vehető, legalábbis határesetként.



hullámjellegük elhanyagolható. Hasonlóképpen járnék, ha más hullám-jelenségekkel próbálkoznék

A fentiek nem cáfolják meg a newtoni mechanikát, sem a klasszikus fizika egyéb törvényeit, legalábbis a mindennapi tárgyaink esetében nem.

Az „új” fizikát úgy kell felépíteni, hogy magába foglalja a régit, mint annak egy speciális esetét. Ha a mikroszkopikus részecskékről áttérünk a makroszkopikusokra, az új fizika törvényei át kell alakuljanak a klasszikus fizika törvényeivé. Ezt az elvet a kontinuitás, vagy korrespondencia elvének nevezzük.

A komplementaritás elve sok felesleges vitát szült. A dialektikus materializmus ezt az elvet sehogy sem tudta megemészteni. Mert az még elmegy szódavizzel, hogy a munkásosztály és a burzsoázia kiegészítik egymást, de hogyan lesz a szocializmus, ahol a munkásosztály kiiktatja (nevezük nevén, megsemmisíti) a burzsoáziát. Meg lehet-e szüntetni az egyik pólust, és ha igen, mi lesz e másikkal. Ma már tudjuk, hogy a vita felesleges volt, a kérdést eldöntötte az idő, a „filozófusaink” megkérdése, illetve meghallgatása nélkül. A botnak mindig két vége marad, bármit is mondtak „imádott” volt diktátoraink, nincs olyan bot, amelynek csak egy vége lenne.

A hullámjelleg következményei

A hullámjellegnek tulajdoníthatóan a részecskék viselkedése meglehetősen eltér az anyagi pont viselkedésétől.

Ha egy mikroszkopikus részecskét bezárunk, mozgását a tér egy részére korlátozzuk, az energiája kvantált lesz. Csak bizonyos, jól meghatározott értékeket vehet fel, ellentétben az anyagi ponttal, amelynek az energiája folyamatosan változik, és bármilyen értéket felvehet.

Ezt a jelenséget először az atomon belüli elektronok energiájánál tapasztalták, ha nem is direkt módon, hanem áttételesen, az atomok által kibocsátott fény színképének tanulmányozásakor. Ebben az esetben az elektronok be vannak zárva az atomba, az elektromos vonzás következtében. Az energia meghatározott mennyiségekben való változásának akkor van jelentősége, ha kölcsönhatás van jelen, és ha a távolságok és a tömegek lényegesen kisebbek, mint ahogy azt a mindennapi életben megszoktuk. Ahogyan az elektron távolodik a magtól, a kölcsönhatás gyengülésével energiája egyre kisebb ugrásokban változik, és végül, az elektron szabadabbá válásakor az energia változása folytonos lesz, mint a klasszikus anyagi pont esetében.

Egy anyagi pont pályájának a meghatározásához (ahogy fennebb láttuk) meg kell oldani a mozgás egyenletét, ismerni kell a kezdeti feltételeket, a pont kezdeti helyzetét és sebességét. A pálya ismerete, előre jelezhetővé teszi a pont további sorsát (lásd a bolygók mozgása).

Méréssel határozzuk meg ezeket a feltételeket (helyzet és sebesség). A mérés teszi lehetővé mennyiségi összefüggések (képletek) megállapítását is, tehát a dolgok kiszámíthatóságát, és ennek következtében az előrejelzését is. Nélküle a fizika nem fizika, tehát a mérés elemzése is „megér egy misét”.

A klasszikus fizikában, ha nem is mindig tudatosan, de feltételezzük a mérés „objektív” jellegét, hogy a mérés, mint eljárás, nem befolyásolja a mérendő mennyiséget. Az, hogy felállunk a mérlegre, nem növeli, nem csökkenti súlyunkat, pedig bár csökkentené, milyen lehetőség lenne ez egy igazán egészséges fogyókúrára. (De hiába, Murphy szerint, minden, ami jó az életben, az vagy törvénytelen, vagy erkölestelen, vagy hizlal.)

A mérés pontossága, a mérőműszerektől és a mérési módszertől függ. Ahogyan ez a kettő fejlődik, a mérés is egyre pontosabbá válik. Ennek a pontosságnak nincsenek elvi korlátai. Annak sincs akadálya, hogy akármilyen sok mennyiséget egyszerre, akármilyen pontosan meghatározzunk.

A hullámjellegből adódik (de nem csak abból lehet levezetni) az alábbi összefüggést, amelyet először W. von Heisenberg állapított meg. Legyen egy részecske (porszem, virágmag, vagy ami ennél nagyobb), amely az OX tengely mentén mozog, akkor:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi},$$

ahol a Δx az a pontosság, amellyel megmérjük a részecske koordinátáját (meghatározzuk a részecske helyét), a Δp_x a pontosság, amellyel meghatározzuk a részecske impulzusát.

Vegyünk a részecske tömegét $m = 10^{-6} \text{ kg}$ -nak. Helyét, mikroszkópot használva, $\Delta x \approx 10^{-6} \text{ m}$ pontossággal tudjuk meghatározni. Ekkor $\Delta x \cdot m \Delta v_x \geq \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi} \approx 10^{-34} \text{ Js}$,

ahonnan $\Delta v_x \approx \frac{10^{-34}}{10^{-6} \cdot 10^{-6}} = 10^{-22} \text{ m/s}$, így a részecske sebesség-meghatározásának

pontossága 10^{-22} m/s . Nyilván nincs olyan műszer amivel ilyen sebesség-ingadozást pontosan lehetne mérni, így gyakorlatilag semmilyen sebességeltérés nem érzékelhető, a sebesség pontosan mérhető. A klasszikus mechanika szerint egy testnek jól meghatározott pályavonala akkor van, ha egyszerre ismert a helye és a sebessége. Példánkból levonható az a következtetés, hogy minden makroszkópikus részecskének a kvantummechanika szerint is van jól meghatározott pályája.

Más a helyzet egy mikroszkópikus részecske esetében. Példaként tekintsünk egy atomi elektront (hidrogén atom). Erről csak azt tudjuk mondani, hogy valahol az atomban helyezkedik el, tehát a mérési bizonytalanság $\Delta x \approx 10^{-10} \text{ m}$ (az atom mérete). Az elektron

tömege $m \approx 10^{-30} \text{ kg}$, így $\Delta v_x \approx \frac{10^{-34}}{10^{-10} \cdot 10^{-30}} = 10^6 \text{ m/s}$. Ez azt jelenti, hogy a mérési

bizonytalanság a mért mennyiség nagyságrendjébe esne. Egy ilyen mérés nem elfogadható, nem vezet eredményre. A következtetés, hogy az atomi elektron sebesség-koordinátái nem mérhetőek, az elektron mozgása az atomban mérésel nem követhető, nincs pályavonala. Mikrorészecskék esetén tehát, ha pontosan ismerjük a részecske helyét, akkor az azt jelenti, hogy, $\Delta x \rightarrow 0$, ($\Delta x = 0$), a részecske egy pontban van, nem egy szakaszon. A szorzat nulla,

ha az egyik tényezője nulla, vagyis, $\Delta x \cdot \Delta v = 0$ ami nem lehet, mert $\Delta x \cdot \Delta v_x \geq \frac{1}{2} \frac{h}{2\pi m}$, és a

h , a Planck-állandó, bár kicsi, mégha nagyon kicsi tömeggel osztjuk is, a nullánál nagyobb értéket kapunk.

Ha nullát valamivel szorzunk, a szorzat csak akkor lehet egy szám, ha az a szorzó végtelen, vagyis, $\Delta v \rightarrow \infty$, tehát a sebesség meghatározásának a bizonytalansága végtelen, vagyis fogalmam nincs, mennyi lehet a részecske sebessége. Ott van valahol nulla és a fénysebesség értéke között, ezek egy anyagi pont lehetséges sebességének a határai.

Fordítva is igaz, ha tudjuk mennyi a részecske sebessége, vagyis $\Delta v \rightarrow 0$, ($\Delta v = 0$) akkor a fenti gondolatmenet eredményeként, $\Delta x \rightarrow \infty$, tehát, annyit tudok a részecske helyéről, hogy az valahol itt van e világegyetemben, minden közelebbi nélkül.

Ezek után indokolt a Heisenberg által megállapított összefüggést határozatlansági relációnak nevezni.

Könnyű belátni a fentiek alapján, hogy nem tudjuk megállapítani (kiszámolni) a részecske pályáját, következésképpen nem tudjuk előre jelezni annak a jövőbeni állapotait.

A fizikus tovább megy. Van-e értelme egyáltalán olyasvalamiről beszélni, amit nem tudok megállapítani, kiszámítani, megmérni? Aligha. Ha ezt tenném, akkor az, amit művelek nem fizika lenne, hanem valami más.

Ezek után, el kell döntenünk, hogy mihez kezdünk. Hogyan fogjuk a jelenségeket előre jelezni, hogyan fogjuk a kölcsönhatások következményeit meghatározni, kiszámolni?

A fentiekből világosan kitűnik, hogy a klasszikus mechanikából ismert út ebben, az atomnál kisebbek világában nem járható. Mást kell keresnünk.

A részecskék állapotát egy hullámfüggvénnyel jellemezzük. Ez a függvény egy hullámegyenlet megoldása. (Most nem bonyolódunk az egyáltalán nem egyszerű matematikai részletekbe.) M. Born megállapította, hogy a hullámfüggvény amplitúdójának (egy szám, legfeljebb komplex szám) a négyzete arányos azzal a valószínűséggel, hogy a részecske egy bizonyos állapotban legyen (egy bizonyos helyen legyen, egy bizonyos értékű energiával rendelkezzen, stb.). Innen következik, hogy csak azt tudjuk kiszámítani, hogy egy bizonyos állapotnak mekkora a valószínűsége, mekkora valószínűséggel tartózkodik a részecske egy bizonyos állapotban.

Vegyünk egy egyszerű példát. Legyen egy részecske, amely tartózkodhat az (1)-es állapotban 25%-os valószínűséggel, egy (2)-es állapotban 10%-os valószínűséggel, és egy (3)-as állapotban 65%-os valószínűséggel. Ha a részecskének nincs több lehetséges állapota, akkor a valószínűségek összege 100% kell, hogy legyen. A valószínűségeket ki lehet fejezni egynél kisebb számokkal is. A fenti esetet véve, ezek a valószínűségek a három esetben 0,25, 0,1, illetve 0,65 lesz, összegük 1 kell, hogy legyen.

A valószínűség értéke, még ha a legnagyobb is (de egynél kisebb), nem jelent bizonyosságot. Bizonyosság a 100%, vagy számban kifejezve az 1.

A legnagyobb valószínűség esetében is a részecske bármely állapotban lehet. Nagyon nagy számú részecske esetén viszont, a részecskék 25%-a az egyes állapotban, a 10%-a kettes állapotban, a 65%-a a hármas állapotban lesz.

Hogy konkrétan melyik állapotban van egy részecske, az csak akkor derül ki, ha elvégzem a szükséges méréseket (koordináta, sebesség, energia stb.), ezzel viszont befolyásolom a rendszert, tehát nem a mérések előtti állapotról kapok információt.

Hogy érzékeltessük, hogy mit is jelentenek a fentiek, leírjuk a Schrödinger macskája néven elhíresült gondolkísérletet, mely a Nobel-díjas osztrák fizikus, E. Schrödinger (a kvantummechanika egyik kidolgozója) „agyszüleménye”. Ezzel a kísérlettel a tudós azt akarta érzékeltetni, hogy a kvantummechanikai szemlélet, amely szerint a mikrovilág részecskéi egyidejűleg több helyen különféle állapotokban létezhetnek, ellentmond a makrovilági látásmódnak.

Legyen egy macska egy átlátszatlan dobozba bezárva. A dobozban még van egy mérgező fiola, egy kalapács, egy ionizáló kamra, egy radioaktív anyag és a szükséges mechanizmusok. A radioaktív anyag részecskéket bocsát ki egy bizonyos valószínűséggel. A részecskét az io-

nizáló kamra felfogja, abban egy áram keletkezik, az áram működésbe hozza a kalapácsot, amely eltöri a fiolát, amitől a macska előbb-utóbb megdöglök. Kérem az állatvédőket, legyenek megértéssel, a tudomány áldozatokat követel, mivel gondolatkísérlettel van dolgunk, csak elképzeljük az egészet, a macskát csak virtuálisan irtjuk ki, ami ugye nem is állatkínzás.

Miután mindent a dobozba zárunk, választ keresünk a kérdésre, hogy mi van a macskával?

Két állapota lehetséges (a végtelékig leegyszerűsítve a dolgokat), vagy él őkelme, vagy nem. Mindegyik állapotot leír egy hullámfüggvény.

Mivel a részecske kibocsátásának csak a valószínűségét ismerjük, nem tudjuk kívülről megmondani, hogy a folyamat már végbement-e, vagy csak ez után következik.

A macska állapotát leíró függvény a két lehetséges állapot (élő, vagy halott) bizonyos módon összeadott függvényeinek az összege. Az összegben nagyobb súllyal jelentkezik a valószínűbb állapot. Most aztán csak azt mondhatom, hogy a macska, bármily furcsa, egyszerre élő is meg halott is (habár, zombikkal nem foglalkozunk).

A makroszkopikus világban, természetesen ilyen nincs, nehezen képzelhető el, hogy a mi macskánk a Prézli, egyszerre élő is meg döglött (Isten ments, hiszen családtag) is legyen.

Az ellentmondás azonnal eltűnik, ha a dobozt kibontjuk és belenézünk, azonnal meg tudjuk különböztetni az élő macskát a holtól. Fizikus ezt úgy fordítja, hogy elvégzem a mérést, ami feloldja a bizonytalanságot. A pontos állapotot csak egy mérés kapcsán állapíthatjuk meg.

Ha a newtoni mechanika alapján vizsgáljuk a jelenséget, akkor nincs semmi gubanc. A radioaktív preparátum által kibocsátott részecske pályája, mozgása a legutolsó részletig ismert, tudjuk mikor lép ki a preparátumból, kiszámítható, mikor hozza létre az áramot az ionizáló kamrában, mikor török el a mérget tartalmazó fiola, és mikor válik a szoban forgó macska néhaivá. A dolog világos, érthető, megszokott, csak éppen nem igaz. A radioaktív preparátum által kibocsátott részecskéről csak a kibocsátásának a valószínűségét tudjuk, semmi biztosat, a kibocsátás időpontja sem ismeretes. Az atomok világa már csak ilyen!

Képzeljük el egy középkori vár kőfalát. Jön az ostromló sereg, és megpróbál a váralkóknak „ajándékokat” küldeni, ágyúgolyók formájában. Amennyiben a golyók pályája a fal felett vezet el, semmi akadálya annak, hogy a golyó célt érjen. Ellenkező esetben a golyó a falat találja el. Ha a golyó energiája (a mozgási energiára gondolunk, amit a sebessége befolyásol) elég nagy ahhoz, hogy a falon keresztülmenjen, akkor megérkezhet a kívánt helyre. Ha az energiája ennél kisebb, valahol a falban elakad, nem jut be a várba. Az soha nem történhet meg, hogy a fenti értelemben kis energiájú lövedék behatoljon a várba. Előre bocsátjuk, hogy a fal homogén, egyforma vastagságú, azonos ellenállást fejt ki a golyó behatolása ellen mindenütt. Mert még azt találná mondani valaki, hogy a golyó éppen eltalál egy vékonyabb falat és már nincs is igazam és eltérítettük a gondolatmenetet, mint az arabok a hatvanas években a Boeingt.

Ezzel szemben, ha az ellenség csak be akar ordibálni a várba, mondjuk a vár feladására akar rávenni, a hang be fog jutni a falon keresztül is. Tudjuk, a hang egy rugalmas hullám, amely ha eléri a vár falát, ott kétféle válik, egy része visszaverődik (visszhang), egy része megtörik, átlép a fal anyagába, abban terjed (gyorsabban, mint a levegőben), majd abból kilép, ily módon bejut a várba. Ez mindig megtörténik, függetlenül a hang (a hullám) energiájától.

Legyen most egy potenciálfal, egy erőtér (sötét középkor után messzi jövő), amely egy makroszkopikus töltött részecske mozgását fékezi. Ha a részecske energiája nagy, az erőtér nem tudja a részecskét megállítani, csak csökkenti a sebességét, és kisebb sebességgel, de át-

jut a falon. Ha az energiája ennyinél lényegesen kisebb, akkor a részecske az erőterben (a potenciál falban) lelassul, megáll, majd az eddigi mozgásának ellenkező irányában felgyorsulva, visszakerül oda, ahonnan jött (ellentétben az ágyúgolyóval). Nem jut át az erőfalon.

Mi van akkor, ha ez a részecske egy elektron, amiről bizonyították, hogy hullámként is viselkedhet, viselkedik? Akkor rá is érvényesek a hullámra jellemző jelenségek, a visszaverődés, és a hullámtörés.

A kicsi energiájú részecske is átjuthat a falon egy hullámtöréshez hasonló jelenség kapcsán (mint a hang a falon). Egy elektron magától érthető módon egyszerre nem verődhet vissza, és ugyanakkor nem juthat át a falon.

A visszaverődésnek és a falon való átjutásnak is csak a valószínűségét tudjuk kiszámítani. A valószínűséget a fent tárgyalt értelemben használjuk. Ha a valószínűség mondjuk 70% a visszaverődés esetében, illetve 30% az átjutás esetére, de nem nulla, ez nem jelenti azt, hogy biztosan vissza fog verődni az elektron a potenciálfalról.

Egy adott esetben bármelyik megtörténhet, de nagyon sok elektron esetében az elektronok 70%-a visszaverődik és a 30%-a pedig túljut a falon.

A kis energiájú elektronnak a falon való átjutása elég hihetetlennek tűnt, e jelenséget éppen ezért alagúthatásnak nevezték el, mintha a részecske egy alagutat találna a falban, és azon jutna át. Természetesen semmilyen alagút sincs, az átjutás a részecske hullám jellegének köszönhető.

Az alagút jelenségre a radioaktivitás a példa. A jelenség abból áll, hogy az atommag spontán módon (külső behatás nélkül) részecskéket bocsát ki, aminek a következtében átalakul más atommaggá.

Az atommagon belüli részecskék energiája nem elég arra, hogy a magot elhagyják, emiatt az alagút jelenség kapcsán, annak következtében lépnek ki a magból. Ez az oka, hogy a részecskék (alfa részecskék, elektronok) nem egyszerre, rövid idő alatt, hagyják el a magokat, hanem lassan, akár évszázadokon keresztül is tarthat a kibocsátás. Ennek a jelenségnek nincs, és nem is lehet klasszikus megfelelője, mivel a makroszkopikus (nagy) testek hullámjellege, ahogy a fentiekben láttuk, elhanyagolható.

Következtetés

A fentiekből kitűnik, hogy az atomi méretű aluli részecskék másként viselkednek, mint az annál lényegesen nagyobbak.

A „furcsa” viselkedésnek az oka, hogy ezek a részecskék hullámként is viselkednek, viselkedhetnek, hullám tulajdonságokat is mutatnak, a hullámokra jellemző jelenségek részvevői.

Bemutattuk, hogy a klasszikus fizika és a kvantumfizika valahol „találkozik”, a kvantumfizika határesetekben, nagyméretű testek (makroszkopikus), nagy távolságok (az atom méreteihez képest) esetében átmegy a klasszikus fizikába, annak törvényeit reprodukálja.

Muhi Miklós