Betekintés a kvantumfizikába

Gavrilova Anna

BME-VIK, gavanna112233@gmail.com

Absztrakt: Úgy tartják, hogy a tudomány és a technika fejlődésében alapvetően fontos szerepet játsz kvantumfizika a XX. században született meg. Ekkorra a klasszikus fizika leküzdhetetlen nehézségekkel szembesült a felhevült testek elektromágneses sugárzásának vizsgálatakor.A sugárzási energia folyamatos változásának a feltételezése a kísérleti adatoknak ellentmondó elméleti eredményekhez vezetett a rövid hullámhosszú sugárzási tartományban. 1900-ban Max Planck egy megoldást javasolt erre a problémára, és egy alapvetően új hipotézist állított fel, miszerint a sugárzási energia diszkrét részekben - kvantumokban - történik. E hipotézis alapján a sugárzás kvantumelmélete lehetővé tette Planck számára, hogy következetesen leírja az egyensúlyi hősugárzást a teljes hullámhossz-tartományban. Ugyanakkor maga Planck a kvantálást nem másnak tartotta, mint egy matematikai módszernek, ami a sugárzás és abszorpció problémájának megoldására szolgál.A kvantumfizika fiatal tudomány, amely nem akadályozza meg a benne lévő fantasztikus hipotézisek felbukkanását. A kvantumfizika kilátásai minden elmét lenyűgözhetnek. Íme, csak néhány példa: az egyes fotonok általi információtovábbításon alapuló kvantumkriptográfia megjelenése, valamint egy kvantum-szuperpozíciót és kvantumösszefonódást használó kvantumszámítógép kifejlesztése az információkkal való munkavégzéshez. Ön szeretne megérteni a kvantumfizikát? Ne próbálja ezt a tudományt a klasszikus fizikával társítani. Akkor másképp nézheti a világot.

A kvantummechanika történelmi eredete

A kvantumfizika születésnapjának 1900. december 14-ét tekintik, amikor Max Planck elméleti következtetést javasolt a test hőmérséklete és az általa kibocsátott sugárzás közötti összefüggésről. Azt mondta: az elektromágneses hullám energiája csak egész részekben - kvantumokban - bocsátható ki és nyelhető el.

Kvantumenergia képlete:

$$e=nh$$

ahol ***e*** a sugárzási energia, ***n*** a sugárzási frekvencia, ***h*** a Planck-állandó

Ez a feltevés megmutatta, hogy a klasszikus fizika törvényei nem alkalmazhatók a mikrokozmoszra. Albert Einstein, kidolgozva a kvantumhipotézist, előterjesztette a korpuszkuláris elméletet. 1905-ben Einstein elmagyarázta a fotoelektromos hatást Planck kvantumhipotézisére alapozva.

A fotoelektromos hatás az a jelenség, amikor szilárd és folyékony testekben elektronkibocsátás történik elektromágneses sugárzás hatására.

A tudós azt javasolta, hogy egy elektromágneses hullám (amelyet fénynek tekintettek) fénykvantumokból (fotonokból) áll. A fény abszorpciója úgy történik, hogy a fotonok saját energiájukat adják át a kvantumokban lévő anyag elektronjainak. A fotoelektromos effektusnál az elektromágneses sugárzás egy része visszaverődik a fém felületéről, míg a másik bekerül és ott elnyelődik. Az elektron energiát kap a fotontól, és elvégzi az anyagból való kilépés munkáját, megszerezve a kezdeti sebességet.

Képlet:

$$\boldsymbol{hn = A + \frac{mv^2}{2}}$$

ahol $\boldsymbol{h}$ a Planck-állandó, $\boldsymbol{n}$ az elektromágneses sugárzás frekvenciája, $\boldsymbol{A}$ a munkafüggvény, $\frac{\boldsymbol{mv^2}}{\boldsymbol{2}}$ pedig a kibocsátott elektron mozgási energiája. [1]

Ez az egyenlet megmagyarázza a külső fotoelektromos hatás összes törvényét:

- Az anyag felületét elhagyó fotoelektronok teljes száma egyenesen arányos az anyag felületét elérő fotonok számával.
- A fotoelektron maximális mozgási energiája függ az elektromágneses sugárzás frekvenciájától és a munkafunkciótól, de nem függ az elektromágneses sugárzás intenzitásától.
- Minden anyagra megvan az elektromágneses sugárzás frekvenciahatára, amely alatt a fotoelektromos hatás nem figyelhető meg. Ezt a frekvenciát és a hozzá tartozó hullámhosszt a fotoelektromos hatás vörös határának nevezzük. Ez függ a munkafunkciótól, az anyag kémiai természetétől és a felület állapotától.

A fotonelmélet lehetővé tette a kvantumoptika jelenségeinek magyarázatát is. A külső fotoelektromos hatásnak köszönhetően hangos filmeket nézünk. A fotocella lehetővé tette a filmre rögzített hang hallhatóvá alakítását. Egy közönséges lámpa fénye áthaladt a film hangsávján, átalakítva a fotocellát érte. Minél több fény halad át a sávon, annál hangosabb a hang a hangszóróban.

1924-ben Louis de Broglie radikális hipotézist terjesztett elő az anyag hullámtermészetéről. Azt javasolta, hogy az elektromágneses hullámok (fotonok) részecskékként, a részecskék pedig hullámként viselkedjenek. Ez a kettősség, az úgynevezett hullám-részecske tartomány, jelentős különbségekhez vezet a mikrorészecskék mozgásának leírásában a kvantummechanikában a klasszikus mechanikához képest. J. Von Neumann megpróbálta közelebb hozni a kvantumelméletet a klasszikus mechanikához, és összeállított

egy egyenletet, amely matematikai leírást ad az anyagról a hullámfüggvény alapján. Így született meg a **hullámmechanika**.

Nem sokkal ez előtt Werner Heisenberg, Max Born és Pascual Jordan kiadta a kvantumelmélet **mátrixmechanika** nevű változatát, amely a kvantumjelenségeket megfigyelhető táblázatok formájában írta le. A mátrixmechanika koncepciója az volt, hogy a részecskéket jellemző fizikai mennyiségeket idővel változó mátrixok írják le. Ezek a táblázatok meghatározott módon rendezett matematikai halmazok, úgynevezett mátrixok, amelyek fölött az ismert szabályok szerint és különféle matematikai műveleteket végezhet. Schrödinger bizonyítása szerint a hullámmechanika és a mátrixmechanika matematikailag egyenértékű.

1925-ben Werner Heisenberg megfogalmazta a kvantummechanika elméletét.

A kvantummechanika a kvantumfizika egyik ága, amely a szubatomi részecskék és rendszereik tulajdonságait és szerkezetét írja le. Az elmélet elmagyarázta, hogyan történnek kvantumugrások.

A kvantumugrás egy kvantumrendszer (különösen egy atom) átmenete egyik energiaszintről a másikra.

Heisenberg megközelítése két összetevőből állt:

- Azon frekvenciák teljes halmaza, amelyeken egy atom kvantumugrás következtében kisugárzik;
- Az ugrások bekövetkezésének valószínűsége;

A kvantummechanika, mint konzisztens elmélet végső kialakulása Werner Heisenberg 1927-es munkájához kapcsolódik, amelyben megfogalmazták azt az elvet, amely szerint egyetlen fizikai rendszer sem lehet olyan állapotban, amelyben tehetetlenségi középpontjának és impulzusának koordinátái egyszerre egészen határozott, pontos értékeket vesz fel. Ezt az elvet ***"határozatlansági relációnak"*** nevezik. Ezek az előrelépések, amelyeket ma együttesen kvantummechanika néven ismerünk, biztosították a régóta várt közös alapot a kvantumjelenségek leírásához.

A kvantummechanika alapfogalmai

De Broglie hipotézise

A részecskék hullám- és korpuszkuláris tulajdonságai egyaránt igen széleskörű alkalmazásra találtak különféle fizikai jelenségek tanulmányozásában. 1924-ben Louis de Broglie hipotézist terjesztett elő a hullám-részecske kettősség egyetemességéről. De Broglie hipotézise szerint minden anyagrészecskének

vannak hullámtulajdonságai, és a részecske hullám- és korpuszkuláris jellemzőit összekötő kapcsolatok ugyanazok maradnak, mint az elektromágneses sugárzás esetében. Tehát, ha egy részecskének **E energiája** és **impulzusa** van, amelynek abszolút értéke **p**-vel egyenlő, akkor egy hullám társul hozzá, amely a részecskével azonos irányban terjed, és leírja annak hullámtulajdonságait.

A kristályrácson végzett elektrondiffrakció kísérleti vizsgálata de Broglie hipotézisének kísérleti megerősítését szolgálta. Megjegyzendő, hogy mivel egy elektron de Broglie hullámhossza a kristály atomi síkjai közötti távolság nagyságrendje (kb. 10-10 m), a kristály az elektronhullámok diffrakciós rácsának szerepét töltheti be. A legjelentősebbek az ideális kristályon (ideális kristályrácsos kristályon) végzett elektrondiffrakció vizsgálata során kapott kísérleti eredmények voltak. Megmutatták a Wulf-Bragg feltétel konzisztenciáját, vagyis a diffrakciós maximum megjelenését, amikor a szomszédos atomi síkokról visszaverődő hullámok útjában a különbség egyenlő egész számú de Broglie hullámhosszal. Ebben az esetben a hullámok erősítik egymást, azaz konstruktív interferencia lép fel. [2]

Heisenberg határozatlansági elv

A mikrorészecskék hullámtulajdonságainak felfedezése azt mutatja, hogy a mikrovilág fizikájában alapvetően új vizsgálati tárggyal van dolgunk. A különbség a mikrorészecske és a hullám között az, hogy egy hullám például egy tükör segítségével két részre osztható, és mindegyiket külön-külön is lehet tekinteni. Egy mikrorészecske, például egy elektron vagy egy neutron, minden kísérletben egyetlen egészként működik. Még senkinek sem sikerült megfigyelni fél elektront, negyed neutront stb.

Lényeges különbség a kvantummechanika és más elméletek között, hogy a klasszikus elméletekben az objektumok tulajdonságait attól függetlenül írják le, hogy azok az eszközökkel kapcsolódnak-e, amelyekkel ezeket a tulajdonságokat felfedezik, míg a kvantummechanikában a megfigyelés feltételeinek figyelembevétele szerves részét képezi maga a probléma az elméleti megfogalmazásának (mivel ugyanakkor a különböző makroszkopikus helyzetekben a mikrojelenségek eltérő, olykor közvetlenül ellentétes tulajdonságokat tárnak fel, például részecskéket vagy hullámokat). Ennek eredményeként jogunk van a mikrorészecske megfigyelésének fogalmának megváltoztatásáról beszélni. Valójában a megfigyelés egy tárgy és egy eszköz közötti interakció folyamata, amelynek eredményeként egy bizonyos jel megjelenik az eszköz kimenetén. De minden interakció, tehát csak egy megfigyelés, önmagában megzavarja a megfigyelt objektumot, megváltoztatja annak tulajdonságait. Fontos, hogy ez a megzavarás nem lehet jelentéktelen. Tehát a részecske bármely tulajdonságának mérésekor, sőt egyszerűen megfigyelésekor a részecske kezdeti állapota általában megsemmisül. Mondhatnánk, hogy egy részecske bármely kvantumállapota hihetetlenül „törékeny” dolog.

1998-ban egy ilyen kísérletet végeztek atomsugárral, amely egymást követően keresztezte a két álló fényhullám rendszerét. Az állóhullámok az interferencia rácsok szerepét töltötték be, amelyeken áthaladva az atomsugár négy koherens nyalábra hasadt. Ezek a sugarak zavarták egymást. További eszközök segítségével, amelyek lézersugárzású rezonátorok, információkat lehetett szerezni az atomsugár útjáról a fényrácson való áthaladás előtt és után. A kísérletek azt mutatták, hogy a rezonátorok bekapcsolásakor az interferenciaminta eltűnt, kikapcsolásakor pedig újra. Úgy tűnt, hogy a részecskéket megfigyelték. Dekoherenciának nevezzük azt a jelenséget, amikor az interferencia eltűnik, ha további megfigyelő eszközöket kapcsolunk be. Fontos, hogy a dekoherencia akkor is megfigyelhető legyen, ha a megfigyelés nem szándékosan szerveződik, hanem egy részecske és a környezet kölcsönhatásának eredménye.

Így a pálya fogalma a klasszikus fizikából alkalmazhatatlanná válik egy kvantumrészecskével kapcsolatban. Példaként tekintsük az elektronok rés általi diffrakcióját.

A diffrakciós mintát a képernyő mögött elhelyezett fényképező lemez rögzíti. Legyen a beeső elektronoknak bizonyos **p impulzusa**. Ekkor a kvantummechanika fogalmai szerint ezek az elektronok egy síkhullámnak felelnek meg, amelynek hullámvektora a de Broglie-egyenletek alapján van meghatározva. Mivel a hullám az egész térben terjed, minden elektronnak van egy jól meghatározott impulzusa és egy meghatározatlan x-koordinátája, mielőtt áthaladna a résen. A helyzet megváltozik, amikor az elektron áthalad a résen. Az x-koordináta határozatlansága egyenlővé válik a rés szélességével, de ebben az esetben az impulzus vetületének határozatlansága az elektronoknak a rés általi diffrakciójából adódik.

A lényeg az, hogy a képernyőn lévő résen áthaladó elektronokat már nem egy sík írja le, hanem egy divergens hullám, melynek intenzitása a diffrakciós szögtől függ. Arra a következtetésre jutunk: ha az elektront erővel próbáljuk megszabadítani a koordinátában lévő határozatlansága, akkor elkerülhetetlenül növeljük az elektron impulzusának határozatlanságát. Vagyis egy részecske helyzetét és impulzusát nem lehet egyszerre ugyanolyan pontossággal mérni, és két határozatlanság szorzata soha nem lesz kisebb egy bizonyos értéknél, a Planck-állandónál. Ezt az összefüggést **határozatlansági relációnak**, az általános elvet pedig **Heisenberg-féle határozatlansági elv**nek nevezik. [3]

Verbális megfogalmazása a következő: a részecske bármely jellemzőjére vonatkozó ismereteink fejlesztésével rontjuk ismereteinket további jellemzőiről. Elektronkísérletünk egy lokalizált mikroszkopikus részecske helyrehozhatatlan "kvantum-jitterét" (általában úgy szokták mondani: nulla rezgés) mutatta be, és ez az, ami néhány tisztán kvantumjelenséghez vezet.

Például nulla hőmérsékleten is, amikor a klasszikus mechanika szerint nincs mozgás, nulla rezgés marad. Éppen ezért a folyékony hélium normál nyomáson még nulla hőmérsékleten sem szilárdul meg.

Ugyanakkor meg kell érteni, hogy a mérési határozatlanság nem a mérési technika tökéletlenségével, hanem a mikrovilág objektív tulajdonságaival függ össze. Az is nyilvánvaló, hogy a kvantummechanika alapvetően valószínűségi természetű, és statisztikai mennyiségekkel operál, vagyis távol áll a klasszikus mechanika determinisztikus módszertanától.

Kvantumállapot, összefonódás

A kvantum, elemi részecskék összefonódása általában ellentmond minden józan észnek, túlmutat minden megértésen. Ha kölcsönhatásba lépnek egymással, akkor az elválás után mágikus kapcsolat marad közöttük, még akkor is, ha bármilyen, tetszőleges nagy távolság választja el őket. Abban az értelemben mágikus, hogy az információ azonnali továbbításra kerül köztük.

A kvantummechanikából ismert, hogy egy részecske mérés előtt szuperpozícióban van, vagyis egyszerre több paramétere van, térben elmosódott, és nincs pontos spinértéke. Ha a korábban kölcsönhatásban lévő részecskepárok valamelyikén mérést végeznek, vagyis a hullámfüggvény összeomlást végzünk, akkor a második azonnal reagál erre a mérésre. Nem számít, milyen messze vannak egymástól a kettő részecske.

Az Einstein relativitáselméletéből ismert, semmi sem haladhatja meg a fény sebességét. Ahhoz, hogy az információ eljuthasson az egyik részecskéből a másikba, legalább a fény áthaladásának idejét el kell töltenie. De az egyik részecske azonnal reagál a második részecske mérésére. A fénysebességű információ később jutott volna el hozzá. Mindez nem fogható fel a klasszikus fizika és a szokásos gondolkodásmód segítségével.

Ha egy nulla közös spin paraméterű elemi részecskéket osztunk, akkor az egyiknek negatív, a másiknak pozitívnak kell lennie. De a mérés előtt a spin értéke szuperpozícióban van. Amint megmértük az első részecske spinjét, láttuk, hogy annak pozitív értéke van, tehát a második azonnal negatív spint kap. Ha éppen ellenkezőleg, az első részecske negatív spinértéket kap, akkor a második azonnal pozitív értéket kap. Következő analógiát hozhatjuk példának:

Két labdánk van. Az egyik fekete, a másik fehér. Nem átlátszó poharakkal fedtük le őket, nem látjuk, hogy hol melyik ladba van. Beavatkozást végzünk. Ha kinyitjuk az egyik poharat, és látjuk, hogy fehér ladba van alatta, akkor a második pohár alatt fekete lesz. De először nem tudjuk, hogy hol melyik van.

Így van ez az elemi részecskékkel is. De mielőtt megnéznénk őket, szuperpozícióban vannak. Mérés előtt a ladbák színtelenek. De miután megsemmisítjük az egyik labda szuperpozícióját, és látjuk, hogy az fehér, a második azonnal feketévé válik. Ez momentálisan megtörténik attól függetlenül, hogy hol vannak a labdák. Az egyik lehet a Földön, a második pedig egy másik galaxisban. Ahhoz, hogy esetünkben a fény

eljuthasson egyik labdától a másikhoz, mondjuk több száz év kell, de a második labda azonnal megkapt a az információt, hogy az első labdán mérést végeztük. Összefonódva vannak.

A ***kvantum-összefonódás*** egy kvantummechanikai jelenség, amelyben két vagy több objektum kvantumállapotát egymáshoz viszonyítva kell leírni, még akkor is, ha az egyes objektumok bizonyos távolságra vannak egymástól. Ennek eredményeként összefüggések (azaz függőség) keletkeznek a tárgyak megfigyelt fizikai tulajdonságai között. Más szóval, az egy rendszerben végzett mérések azonnali hatással vannak a hozzá kapcsolódó rendszerre. Azonban, a klasszikus értelemben vett információ alatt értjük, hogy a környezet statisztikai jellege miatt a továbbítandó információ nem lehet összefonódáson keresztül közvetíteni.

Nyilvánvaló, hogy Einstein és sok más fizikus nem fogadta el az események ilyen kimenetelét, vagyis a kvantum-összefonódást. A kvantumfizika következtetéseit helytelennek, hiányosnak tartotta, és feltételezte, hogy néhány rejtett változó hiányzik. Éppen ellenkezőleg, a fent leírt Einstein-paradoxont azért találták ki, hogy megmutassa, a kvantummechanika következtetései nem helyesek, mert az összefonódás dacol a józan ésszel.

Ezt a paradoxont ***Einstein-Podolsky-Rosen paradoxon***nak nevezték, rövidítve ***EPR paradoxon***nak.

A. Aspect és más tudósok kimutatták, hogy Einstein tévedett. A kvantumösszefonódás létezik. És ezek már nem az egyenletekből fakadó elméleti feltételezések voltak, hanem a kvantumösszefonódásra vonatkozó számos kísérlet valós tényei. A tudósok ezt élőben látták, és Einstein úgy halt meg, hogy nem tudta meg az igazságot. A részecskék valóban azonnal kölcsönhatásba lépnek, a fénysebesség korlátozása nem akadályozza őket. A világ sokkal érdekesebbnek és összetettebbnek bizonyult. De hogy lehet ez?

A mai kvantumfizika elegánsan válaszol erre a kérdésre. A részecskék között azonnali kommunikáció van, de nem azért, mert az információ nagyon gyorsan átvitelre kerül, hanem azért, mert mélyebb szinten egyszerűen nem különülnek el, hanem még együtt vannak. Az úgynevezett kvantumösszefonódásban vannak.

Vagyis a összefonódás állapot a rendszer olyan állapota, ahol egyes paraméterek, értékek szerint nem lehet különálló, teljesen független részekre osztani. Például az elektronokat a kölcsönhatás után nagy távolság választja el egymástól a térben, de spinjeik továbbra is együtt vannak. Ezért a kísérletek során a spinek azonnal megegyeznek egymással.

Van egy mélyebb, megnyilvánulatlan valóság. Amit az ismerős klasszikus világként megfigyelünk, az csak egy kis része, egy alapvetőbb kvantumvalóság speciális esete. Nem tartalmaz teret, időt, a részecskék bármely paraméterét, hanem csak információt tartalmaz róluk, megnyilvánulásuk lehetséges lehetőségéről.

Vagyis alapvetőbb szinten egy elemi részecske megnyilvánulatlan. A tér több pontján egyszerre található, több spin értéke van.

Aztán bizonyos paraméterek szerint klasszikus világunkban is megnyilvánulhat a mérés során. A fent tárgyalt kísérletben két részecske már rendelkezik meghatározott térkoordináta értékkel, de spinjeik még a kvantumvalóságban vannak, megnyilvánulatlanok. Nincs tér és idő, így a részecskék spinjei össze vannak kötve, a köztük lévő hatalmas távolság ellenére. És amikor megnézzük, hogy egy részecskének milyen spinje van, azaz mérést végzünk, akkor mintegy kihúzzuk a spint a kvantumvalóságból a hétköznapi világunkba. És úgy tűnik számunkra, hogy a részecskék azonnal információt cserélnek. Csak egy paraméterben még együtt voltak, pedig távol álltak egymástól. Elkülönülésük valójában illúzió. A kvantumösszefonódás elve nem illeszkedik megszokott világnézetünkhöz. De például a kvantumszámítógépek is ezen a mágikus összefonódáson alapulnak.

Kvantum teleportáció

Amikor a tudósok megismerték a kvantumösszefonódást és az információ azonnali átvitelét, sokan elgondolkodtak: lehetséges-e a teleportáció?

Kiderült, hogy tényleg lehetséges. A teleportációval kapcsolatban már sok kísérletet végeztek. A módszer lényege könnyen megérthető, ha megértjük az összefonódás általános elvét.

Van egy részecske, például egy A elektron és két pár összefonódott B és C elektron. Az A elektron és a B, C pár a tér különböző pontjain található, bármilyen távol is legyenek egymástól. Most alakítsuk át az A és B részecskéket kvantumösszefonódássá, azaz kombináljuk őket. Most C pontosan azonos lesz A-val, mert általános állapotuk nem változik. Vagyis az A részecske mintegy a C részecske felé teleportálódik.

Természetesen eddig minden kísérletet csak elemi részecskékkel végeztek. Azonban el kell ismerni, hihetetlen. Hiszen mindannyian ugyanazokból a részecskékből állunk, a tudósok szerint a makroobjektumok teleportálása elméletileg nem különbözik egymástól. Csak sok technikai kérdést kell megoldani, és ez csak idő kérdése. Talán fejlődés során az emberiség eléri azt a képességet, hogy teleportáljon nagy tárgyakat, sőt magát az embert is.

A kvantumelmélet paradoxonai

EPR paradoxon

1935-ben Einstein, Podolsky és Rosen egy gondolatkísérletet javasoltak, amely szerintük azt sugallja, hogy a hullámfüggvény nem elegendő a fizikai objektumok leírására. Ezért azt állították, hogy a

kvantummechanika nem telítettlen. Einstein, Podolsky és Rosen két egymással korrelált részecskéből álló rendszert tekintettek, vagyis olyan részecskéket, amelyek tulajdonságai összefüggenek, de nincsenek megadva. Például az A és B részecskék ugyanabban a pontban születnek, majd különböző irányokba szóródnak szét. A születés pillanatában egyiknek sincs adott koordinátája és impulzusa, de az impulzus megmaradásának törvénye miatt impulzusaik összege, valamint koordinátáik összege mindig nullával egyenlő. Ha például mérést végzünk az A részecskén, megmérjük a koordinátáját, akkor a hullámfüggvénye "összeomlik" a megfelelő pontban. De ebben az esetben a B részecske hullámfüggvénye is „összeomlik”, hiszen egy ilyen mérés után a koordinátája is pontosan ismertté válik. Ha a hullámfüggvény teljesen jellemzi a részecskét, akkor tényleg történik valami a B részecskével, és a mérést az A részecskén végezték el, amely nagyon távol lehet B részecskétől. Ha megváltozik a B részecske hullámfüggvénye, és a részecske pontosan ugyanaz marad, és ez azt jelenti, hogy a hullámfüggvény rossz tulajdonsága egy kvantumrészecskének. Ez az Einstein-Podolsky-Rosen paradoxon, vagy röviden az EPR paradoxon. [4] [5]

A paradoxon megoldása a következő. Valójában Einstein, Podolsky és Rosen érvei a legkevésbé sem cáfolják a kvantummechanikát vagy még a hullámfüggvény fogalmát sem. A lényeg az, hogy amint EPR-ről való cikk megjelenése után kiderült, a korrelált részecskéket egyetlen közös hullámfüggvény jellemzi; A két részecske mindegyikéhez nem rendelhető meghatározott hullámfüggvény. Következésképpen az egy részecske feletti mérés pillanatában mindkét részecske teljes hullámfüggvénye és a megfelelő kvantumobjektum - két korrelált részecske - valóban megváltozik.

Az EPR paradoxon nagy jelentőséggel bírt a kvantumelmélet fejlődése szempontjából. Mindenekelőtt számos új fogalom kidolgozását ösztönözte, és felkeltette az érdeklődést a kvantumrészecskék korrelált állapotai iránt. Amikor kísérletileg felfedezték a fotonok ilyen állapotait, megkezdődött a fizika egy új területe - a kvantumoptika - gyors fejlődése. Ezenkívül a kvantumrészecskék korrelált párjaival (más néven EPR-párokkal) végzett kísérletek lehetővé tették annak tesztelését, hogy a valószínűségi viselkedés valóban jellemző-e egyetlen kvantumrészecskére vagy egy részecskék gyűjteményére.

Hullámfüggvény-összeomlás. Shroedinger macskája

Ahhoz, hogy lássuk, hogyan változnak ténylegesen a vizsgált kvantummechanikai rendszer paraméterei (például egy elektronikus eszköznek), szükségünk volt egy hullámfüggvényre vagy állapotfüggvényre, amely azt jellemzi. Amikor elkezdtük mérni egy kvantumrészecske karakterisztikáját, a függvény azonnal megváltozott. Ezt a hatást hullámfüggvény-összeomlásnak nevezik. 1971-ben John von Neumann kidolgozta azt az elképzelését, hogy minden kvantummechanikai dimenzióban van egy elemzetlen elem. Feltételezte, hogy a hullámfüggvény a folyamatos változás mellett azonnali változáson megy keresztül a

mérés során a megfigyelő beavatkozása, az objektumra gyakorolt hatása miatt. A hullámfüggvény összeomlása, valamint a kvantummechanika befejezetlensége a mikrokozmoszból a makrokozmoszba való átmenetben Erwin Schrödinger ajánlotta fel. Ennek a lényege a következő.

A macskát zárt dobozba helyezzük. A doboz egy radioaktív rudat és egy mérgező gázt tartalmazó tartályt tartalmaz. A kísérleti paramétereket úgy választottuk meg, hogy a magbomlás valószínűsége 1 óra alatt 50% legyen. Ha a mag szétesik, aktiválja a mechanizmust, kinyitja a gáztartályt, és a macska meghal. A kvantummechanika szerint, ha az atommagot nem figyelik meg, akkor annak állapotát két állapot - egy elpusztult mag és egy fel nem oldott mag - szuperpozíciója (keveredése) írja le, ezért a dobozban ülő macska ugyanabban az időben él is és nem is, meghalt. Ha a doboz nyitva van, akkor a kísérletező csak egy meghatározott állapotot láthat - "a mag elpusztult, a macska meghalt" vagy "a mag nem bomlott, a macska él".

Felmerül a kérdés: mikor szűnik meg a rendszer két állapot keverékeként, és egy konkrét állapotot választ? A kísérlet célja annak bemutatása, hogy a kvantummechanika telítettlen, anélkül, hogy bizonyos szabályokat mutatna ki, hogy milyen körülmények között omlik össze a hullámfüggvény, és a macska vagy meghal, vagy életben marad, de megszűnik a kettő keveréke. Megjegyzendő, hogy a paradoxon nem azért merül fel, mert a körülöttünk lévő világ ilyen, hanem a formalizmus, a leírás megközelítése miatt. A kvantumfizika modern matematikai apparátusának sajátossága olyan, hogy mindig leír valamit a kettő között.

Összefoglalás

Newton, Galileo és még Einstein klasszikus fizikájában is volt egy közös tulajdonság: az összes fizikai mennyiséget nemcsak mérni lehetett, hanem azok későbbi időbeli változásait is bármilyen fokú pontossággal ki lehetett számítani. Bármilyen bonyolult rendszer viselkedése és bármilyen tömegű és méretű test mozgása elvileg előre megjósolható volt. A kvantummechanika a világot irányító, alapvetően eltérő törvényrendszert javasolt. Az általa vizsgált első mikroobjektumok - atomok, elektronok és fotonok, amelyek kategorikusan nem akartak klasszikusnak megfelelően viselkedni - arra kényszerítették a fizikusokat, hogy radikálisan megváltoztassák a természeti jelenségek leírásának módszereit. A klasszikus természettudományban számos jelenség magyarázata során nagy nehézségek adódtak. Az a megértés, hogy a mikrokozmosz különleges törvények szerint él, fokozatosan és nagy nehézségek árán alakult ki, mivel ezek a törvények nagyon szokatlanok voltak. A mérési problémák a kvantummechanikában már nem lesznek problémák, ha megértjük, hogy a világot nem kell egyetlen univerzális megközelítéssel leírni. Ez azt jelenti, hogy a kvantummechanika által megjelölt úton haladva meg lehet érteni a környező világ szerkezetének minden elképesztő gazdagságát és egyediségét.

Források:

[1] S. E. D. P. Heisenberg W., Modern kvantummechanika. Három Nobel-előadás, Moszkva: Gostekhizdat, 1935.

[2] L. E. Landau L.D., Egy rövid elméleti fizika tanfolyam. 2. kötet: Kvantummechanika., Moszkva: Nauka, 1974.

[3] M. L. Smirnov E.V., A kvantumfizika., Moszkva, MSTU im. N.E. Bauman, 2008.

[4] P. W., A kvantumelmélettel foglalkozik. Kvantum elmélet. A hullámmechanika általános elvei. Cikkek 1920-1928, Moszkva: Nauka, 1975.

[5] L. R. S. M. Feynman R., Feynman Lectures on Physics, Kötet: Quantum Mechanics, 1. rész, Moszkva: Mir, 1967.

Szikora, P., Lazányi, K. (2022). The End of Encryption?–The Era of Quantum Computers. In Security-Related Advanced Technologies in Critical Infrastructure Protection (pp. 61-72). Springer, Dordrecht.