

## **Bevezetés a kvantumfizikába 2011. ősz**

A \*-gal jelölt részeket csak a jó és jeles minősítésű vizsgaeredmény eléréséhez kell tudni.

### **1. hét: A fény természete**

Az elektromágneses hullám jellemzése (amplitudó, polarizáció, transzverzálitás, átlagos intenzitás); Young kétutas interferencia kísérlete; a Mach-Zehnder interferométer; A röntgensugárzás hullámtermészetének kimutatása; Az elektromágneses tér termodinamikája; Termikus egyensúly, emisszió és abszorpció; Az abszolút fekete test kísérleti megvalósítása; A Stefan-Boltzmann törvény és Wien törvénye; Az ekvipartíció elve és alkalmazása az elektromágneses sugárzási tér módusaira; Planck interpoláló képlete a Rayleigh-Jeans és a Wien sugárzási törvények között; Planck sugárzási törvényének származtatása és következményei: a Wien-féle eltolódási törvény és a Stefan-Boltzmann törvény; A foton impulzusa, atomsugár lassítása lézersugárral; Atomsugár mágneses csapdában és a Doppler-hűtés

\*A kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás

\*Interferenciakísérlet, amikor egyetlen foton van egyidejűleg az interferométerben

### **2. hét: Anyaghullámok**

A részecske—hullám megfeleltetés (de Broglie szótára); Davisson és Germer elhajlási kísérlete elektronokkal; az erősítés Bragg-feltétele; A mágneses lencse konstrukciója a Lorentz erő és sugármenet szerkesztés alapján; Az optikai felbontóképesség képletének alkalmazása elektronokra; Elektron-interferencia kísérletek (Marton, Jönsson, Tonomura); A terjedési amplitúdó bevezetése az elektronok interferenciájának értelmezésére; az elektron szabad terjedésének amplitúdóját leíró Schrödinger-egyenlet megalapozása; Schrödinger-egyenlet állandó potenciálban mozgó részecskére; A neutronok Mach-Zehnder interferométere és a Colella-Overhauser-Werner—kísérlet; A hullámcsomag konstrukciója és időbeli terjedése; A stacionárius fázis elve és a csoportsebesség származtatása; Kapcsolat a hullámcsomag térbeli és impulzusbeli szélessége között; A bizonytalansági reláció és az interferenciakép elmosódása a részecske trajektóriájának azonosítását lehetővé tevő kétutas interferencia kísérletben.

\*A transzfer mátrix – a neutron interferométer általános elmélete

### **3. hét: A kvantummechanika elemei**

Schrödinger-egyenlet helyfüggő potenciálban; A határfeltételek; A hullámfüggvény valószínűségi jelentése; A kvantummechanikai valószínűség megmaradását kifejező

mérlegegyenlet; A valószínűségi áram sűrűsége; A kvantumrészecske helyének statisztikája; A kvantumrészecske impulzusának statisztikája; Az impulzus operátora; Az energia operátora; Állandó frekvenciájú rezgést végző (stacionárius) állapotot leíró hullámfüggvény és az energia operátorának sajátérték feladata; Áthaladás potenciállépcsőn, a valószínűség megmaradásának példája; Behatolás potenciálgát alá és az alagúthatás; A pásztázó alagút elektronmikroszkóp konstrukciós elve és az anyagszerkezet atomi szintű leképezésének lehetősége; A kötött állapot példája: mozgás végtelen magas potenciálfalak között.

\*Kötött kvantummozgás véges magasságú potenciálfalak között

#### 4. hét: **A saját perdület (spin)**

A Stern-Gerlach kísérlet; Inhomogén mágneses térben repülő mágneses momentumra ható erő; a mágneses térrel párhuzamos mágneses momentum vetület kvantáltsága; A két független állapot lineáris kombinációit tartalmazó állapottér kiépítése. A lineáris kombináció együtthatóinak valószínűségi jelentése; A mágneses momentumvetület várható értékének számítása; A mágneses momentum operátora; A 90 fokkal elforgatott Stern-Gerlach berendezéssel elvégzett kísérlet eredményének értelmezése és a mágneses momentum x- és y- komponensét leíró operátorok konstrukciója. Az x- és y- irányban határozott vetületű állapotok megadása az eredeti állapottéren. A mágneses momentum operátora tetszőleges irányba forgatott Stern-Gerlach készülékkel végzett kísérlet leírására; Az Einstein—de Haas-kísérlet. A mágneses momentum és a perdület (impulzusmomentum) arányossága; A Bohr magneton és a giromágneses tényező; A spin operátora; Az elektron (atom) teljes (térbeli és spin-térbeli) állapotfüggvénye; A (normális) Zeeman-hatás értelmezése

\*Általános irányú spinvetület operátorának saját-vektorai. A sajátvektor azimut-szög szerinti  $4\pi$  forgásra vonatkozó periodicitása és igazolása neutroninterferenciával: Rauch kísérlete

#### 5. hét: **Azonosság a kvantumfizikában**

Miért nem beszélhetünk két rendszer azonosságáról a klasszikus fizikában? Mikor azonos két kvantumobjektum? A He-atom Hamilton-operátorának felcserélési szimmetriája; A felcserélés (permutáció) operátora, sajátértékei, saját-állapotai; A kicserélési degeneráció; A degeneráció csökkentése az állapot határozott permutációs szimmetriájának megkövetelésével; A degeneráció megszüntetése kiegészítő kvantummechanikai alapelv bevezetésével: antiszimmetrikus fermion- és szimmetrikus bozon-hullámfüggvények; A Pauli-elv megvalósulása a He-atom alapállapotában (az elektronok közötti taszítás elhanyagolásával); A kémiai elemek periódusos rendszerének kvantummechanikai értelmezése az elektronhéj független részecskékre épülő közelítő hullámfüggvényével; Az első ionizációs energia periodikusságának értelmezése és a periódusok hossza; Azonos részecskékkel elvégzett szórás-kísérlet klasszikus és kvantumos leírása közötti eltérés: kicserélési interferencia; Az összefontság tulajdonsága; Összefontság a He-atom alapállapotában; Összefonott kétfotonos állapotok a Ca-atom kétfotonos bomlásából és nem-lineáris BBO-kristállyal végzett foton-„hasításból”; Összefonott állapotbeli foton polarizációs

állapotának biztos megadása a partner-fotonon végzett polarizációs méréssel; A fizikai valóság objektív tulajdonsága (Einstein definíciója); Kvantummechanikailag összeférhetetlen polarizációs tulajdonságok egyidejű meglétének paradoxona (az Einstein-Podolsky-Rosen paradoxon); A rejtett paraméteres elmélet feltételezése és viszonya a kvantummechanikai jóslatokhoz; Az összefonott állapot paradox viselkedésének karikatúra jellegű megfogalmazása: Schrödinger-macskája

## 6. hét: **A nem-lokális kvantumvilág**

A fény polarizációs állapotát leíró kétkomponensű állapot-vektor. A polarizáció mérésének eredménye egy tetszőleges irányítású polárszűrő alkalmazásakor (az átengedés valószínűségi amplitúdója és valószínűsége) adott irányban lineárisan polarizált nyaláb beesése esetén. Ca-atom legerjesztésekor keletkező ikerfotonokkal végzett polárszűrős gondolatkísérlet elemzése, Wigner Jenő egyenlőtlensége. Ellentmondás a kvantummechanikai elemzés jóslatával. Az egyenlőtlenség Clauser-Horne-Shimony-Holt alakjának kísérleti ellenőrzéséből levont következtetés a lokális, determinisztikus rejtett paraméteres elméletek és a Természet viszonyára.

\*Bell-egyenlőtlenség levezetése két elektron szinglett spinállapotban szétrepülő párján elvégzett spinkorrelációs mérés rejtett paraméteres eredményére. \*A spinkorrelációs kísérlet kvantummechanikai elemzése és jóslat eredményére. \*A rejtett paraméteres és a kvantummechanikai jóslat ellentmondása.

A nem-lokális kvantum-korrelációk felhasználása kvantum teleportáció megvalósítására. Két foton együttes polarizációs állapotának leírása az összefüggő állapotok bázisán (Bell-bázis). A Bell-mérés: olyan eszköz, amelynek mérési kimenetéről a Bell-állapotok előfordulási statisztikája állapítható meg. Részleges Bell-mérés félig áteresztő tükörré két oldalról rábocsátott fotonpár állapotára: a „BBO-állapot” (a BBO-kristállyal előállított összefonott foton-állapot) azonosíthatósága. A transzportáció kezdő állapota: az ismeretlen fotonállapot társul egy BBO-pár hoz. A BBO-pár egyik tagján és az ismeretlen állapotú fotonon elvégzett részleges Bell-mérés és információjának klasszikus kommunikációs csatornán történő továbbítása a távoli kísérleti partnerhez. A távoli partnerhez elküldött másik Bell-fotonok közül az ismeretlen foton-állapottal egybeesők kiválogatása a részleges Bell-mérés eredményének ismerete alapján. Az eredmény: hibamentes, 25%-os hatékonyságú kvantumállapot másolás, de klónozás nélkül!