

## Tudásellenőrző kérdések az Atom- és kvantumfizika előadás 2. részéhez

### I.előadás: A fény hullám- és részecskeviselkedése

1. Mi a hasonlatosság a röntgensugárzás (Laue) és az elektron hullámtermészetének (Davisson és Germer) első kísérleti bizonyítékai között?
2. Ismertesse a Mach-Zehnder interferométer elvi vázlatát!
3. Mi az abszolút fekete test? (Kirchhoff definíciói). Mondjon példákat a fekete-test (vagy termikus) sugárzás előfordulására a természetben!
4. Mi sugárzás spektrális sűrűségének definíciója? Mi a kapcsolat a frekvencia és a hullámhossz szerinti spektrális sűrűségek között? Hogyan kapcsolódik a spektrális sűrűséghez és mit állít a Stefan-Boltzmann sugárzási törvény?
5. Rajzolja le a fekete test sugárzás spektrális sűrűségének mérhető alakját úgy, hogy a rajz illusztrálja Wien törvényét!
6. Melyek a termodinamikai szabadsági fokai az elektromágneses üregsugárzás egy határozott frekvenciájú módusának? Mi a szerepe az ekvipartíció tételének a Rayleigh-Jeans sugárzási törvényhez vezető gondolatmenetben?
7. Hogyan változik Planck sugárzási modelljében az egy módusra jutó átlagos energia? Milyen határesetben érvényes az ekvipartíció tétele?
8. Miért gyakorol eredő erőhatást az atomra a lézerezimpulzusból elnyelt majd újból kisugárzott nagyszámú foton?
9. Hogyan változik az elnyelési hatáskeresztmetszet a fény frekvenciájának hangolásával? Hogyan befolyásolja ezt a függést az atom sebességének nagysága?
10. Milyen módon lehet a rezonáns elnyelés feltételének a lassuló atom változó sebességéből származó megszűnését megakadályozni? (W. Phillips Nobel-díja!)
11. Mi az „optikai melasz”? Hogyan kell hangolni a melaszt létrehozó keresztirányú lézersugarak frekvenciáját? (Chu Nobel-díja!)

### II.előadás Az anyagi részecskék hullámszerű viselkedése

12. Ismertesse de Broglie hullám-részecske megfeleltetését és az ebből minden mechanikai mozgást végző testre következő diszperziós relációt. Becsülje meg a C. Ronaldo szabadrúgásával útjára indult futball labda hullámhosszát?
13. Az elektronokkal elvégzett kétlyukas interferenciakísérlet értelmezésében szereplő síkhullámokban mi terjed hullámként? Adja meg a szabad (erőmentes) részecsketerjedésre érvényes hullámegyenletet.
14. Mit jelent Dirac kijelentése: „a foton önmagával interferál”. Hogyan bizonyítja ezt Grangier, Roger és Aspect kísérlete?
15. Általánosítsa a Schrödinger egyenletet állandó potenciálban terjedő részecskére! Ismertesse az ennek érvényességét bizonyító, neutronokkal elvégzett kísérletet (Colella, Overhauser, Werner)
16. Miért a hullámcsomag a részecskeállapot korrekt leírása a síkhullám helyett? A hullámcsomag megoldáshoz melyik tulajdonságát használjuk ki a Schrödinger egyenletnek?

- Írja fel egydimenzós mozgásra a hullámcsomag kifejezését és az ott megjelenő mennyiségekkel definiálja a fázissebességet és a csoportsebességet?
17. Milyen széles a hullámcsomag a térben? Mi a kapcsolata a hullámszám-térben definiált szélességgel? Fogalmazza meg a bizonytalansági összefüggést! Illusztrálja ezt Heisenberg mikroszkóp elemzésével és a kétlyukas interferencia mintázatának elmosódásával, amikor megkísérlik azonosítani az elektronok áthaladási pályáját!
  18. Adja meg a fizikai (valószínűségi) jelentését a hullámcsomag síkhullám-komponensei együtthatóinak! Adja meg segítségével a részecske kinetikus energiája várható értékének kifejezését! Hogyan lehet ezt a várható értéket kiszámítani az impulzus operátorát bevezetve  $x$ -térben?

### III. előadás      A Schrödinger egyenlet alaptulajdonságai

19. Adja meg a Schrödinger-egyenlet megoldásához használandó határfeltételek levezetését, amikor a két közel állandó potenciállal jellemzett tartomány közötti határ pontjainak infinitezimális környezetében a potenciál korlátos.
20. Fogalmazza meg a valószínűség megmaradásának tételét! Mi a valószínűségi áramsűrűség? Megmarad-e a valószínűség, ha a Schrödinger egyenletben szereplő potenciálra komplex függvényt használunk?
21. Kvantum-részecskék áramát vezetjük egy potenciál-lépcsőre (egydimenziós mozgás). Miben különbözik és miben hasonló a klasszikus mozgáshoz a Schrödinger-egyenletből származó visszavert, illetve továbbhaladó részecskeáram?
22. Ismertesse az alagútjelenséget. Hogyan függ a potenciálgát szélességétől és hogyan a magasságától az alagutazás valószínűsége?
23. Ismertesse a pásztázó alagútmikroszkóp (STM) működési elvét, üzemmódjait. A vizsgált minta elektronjairól milyen információt ad az STM felvétel?
24. Mikor jön létre kötött állapot? Mi az oka a kötött állapotok lehetséges energiái diszkrét értékkeszletének (kvantáltság)? Határozza meg a végtelen mély potenciálgödörben kialakuló állapotok lehetséges energiáit!
25. Hamilton-operátor konstrukciója a korrespondencia elvvel. A Hamilton-operátor tértükrözési tulajdonságai és a tértükrözés (paritás) operátora. Következmények az energia sajátállapotok hullámfüggvényeire.
26. Tételezzük fel, hogy egy kvantumrendszernek ismerjük összes energia-sajátállapotát és mindegyikhez tartozó saját-energiát. Energiamérést végzünk a rendszer egy tetszőleges állapotán, amely nem energia sajátállapot. Hogyan számolná ki egy kiválasztott sajátérték mérésének valószínűségét?
27. Hogyan számolja ki egy rendszer tetszőleges állapotában az impulzus és az energia várható értékét?
28. Mi következik két mennyiség operátorának fel nem cserélhetőségéből a két mennyiség egyidejű pontos mérhetőségére? A pályamozgás impulzusmomentuma és a helyvektor operátorának mely komponensei felcserélhetőek?

#### IV. előadás A spin kvantummechanikája

29. A Stern-Gerlach kísérlet eredményének melyik egyszerű sajátossága miatt nem lehet értelmezni eredményét a pályamenti mozgásból származó perdület (impulzusmomentum) révén?
30. Hány dimenziós az elektron saját-perdületének állapottere? Hogyan számolható ki egy tetszőleges állapotban a spin egy adott irányra vett vetületének várható értéke?
31. Adja meg a tér egy tetszőleges  $\mathbf{n}$  egységvektorral jellemzett irányára vett spinvetület operátorát! Írja fel ennek segítségével az  $\mathbf{n}$  irányú homogén mágneses térrel kölcsönható mágneses momentum Hamilton operátorát.
32. Írja fel a Schrödinger egyenletét egy feles spinű részecskének, amely  $V(x)$  potenciálban és homogén külső mágneses térben mozog. (Hogyan adja meg egyszerre a térbeli és a spin-térbeli valószínűségi amplitúdót?)
33. Milyen furcsa tulajdonságot mutat egy elektronnak tetszőleges, a z-tengelytől különböző irányra határozott vetülettel rendelkező spinállapota, ha az azimutszöget  $2\pi$ -vel növeljük, azaz egyszer megkerüljük a z-tengelyt? Hogyan mutatták ki ezt a tulajdonságot kísérletileg?

#### V.+VI. előadás Többrészecskés kvantumállapotok

34. Írja fel a hidrogén atom (proton és elektron kötött állapota) energiáit meghatározó sajátérték feladatát! Hogyan jutunk el a klasszikus Hamilton-függvénytől a kvantummechanikai Hamilton-operátorhoz?
35. Írja fel egy  $k$  rugóállandójú rugalmas erővel csatolt  $m_1$  és  $m_2$  tömegekből álló rendszer Hamilton-operátorát, majd az energiáját meghatározó sajátérték feladatát! Milyen mozgást végez a rendszer tömegközéppontja és ennek milyen hullámfüggvény felel meg?
36. Mi a „kicserélési degeneráció”? Milyen tulajdonságú hullámfüggvényt enged meg a kvantummechanika a két elektronból álló rendszer számára? Hogyan következik ebből a Pauli elv?
37. Magyarázza el a Mengyelejev féle kémiai elem-osztályozás kvantumfizikai hátterét!
38. Mi a „kicserélési interferencia”?
39. Mi az összefonott állapot definíciója? Függ-e két,  $\frac{1}{2}$  spinértékű, azonos részecske spin-állapotának összefonódott jellege a spintér bázisának választásától? Válaszát illusztrálja is egyszerű példával.
40. Mutassa be az Einstein-Podolsky-Rosen paradoxont D. Bohm megfogalmazásában! Mi a rejtett paraméter?
41. Hogyan lehet két azonos atom összefonott állapotát egy mikro-üreg segítségével előállítani?\*
42. Írja le a spin-korrelációs kísérletet, amelyet Bell arra javasolt, hogy eldönthető legyen a kvantummechanikai elmélet és a rejtett paraméteres elméletek közötti eltérés. Számítsa ki a kvantummechanika jóslatát két elektron anti-szimmetrikus spinállapotában a spin-korrelációs függvény kifejezésére.
43. Írja fel a rejtett paraméteres elméletben a spin-korrelációs függvény várható értékének kifejezését. Hogyan épül be ebbe a kifejezésbe Einstein-nek az a gondolata, hogy két térben eltávolodott kvantumrészecske egyikén elvégzett mérés nem befolyásolja a másik fizikai tulajdonságait?

44. Mi a Bell-egyenlőtlenség?
45. A spin-korrelációs mérésben a Stern-Gerlach analizátorokat milyen egyszerű geometriai elrendezésben alkalmazva látszik, hogy a kvantummechanikai jóslat a mérés eredményére sérti az egyenlőtlenséget? Mi a helyzete kísérleti ellenőrzésének és ebből milyen következtetés vonható le a valóság és a rejtett paraméteres elmélet viszonyára?
46. Mit tud a kvantum rendszerek teleportációjáról? Sérti-e a kauzalitás elvét? Miben különbözik a kvantum teleportáció a xerox-másolat készítésétől? Mi a „no-cloning” tétel?\*