

TÁJÉKOZTATÓ

A FIZIKAC3 tantárgy 3. félévi követelményeiről.

BME Szak: Villamosmérnöki Szak

Előadó: Orosz László

A tantárgy témája: Kvantummechanika alapjai és alkalmazása a szilárdtestfizikában.

A tantárgy célkitűzése: A mindennapi életünk ma már elképzelhetetlen számítógépek (és egyéb elektronikus eszközök) nélkül, melyek legfontosabb szerkezeti eleme az integrált áramköri egységek. Az ezekben lezajló alapvető fizikai folyamatok megértéséhez a kvantummechanika legalább alapszintű ismerete szükséges. Ennek elsajátítása a tantárgy egyik célja.

A napjainkig elért, a köznapi ember számára „csodálatosnak” tűnő tudományos eredmények ellenére (vagy talán éppen ezért!?) hazánkban az áltudományok és a miszticizmus egyre inkább terjed. Ennek egyik elősegítője (a társadalmi okokon kívül) a természettudományos alpműveltség alacsony szintje. A tudományos gondolkodásmód és módszer ismeretének általános hiánya. A kvantummechanika a XX. század szellemi terméke. Ma már az egyetemes emberi kultúra részének tekinthető. Állításai a hétköznapi szemlélet számára meglehetősen fantasztikusnak és meghökkentőnek tűnnek. Ezért a tantárgy alapvető és általános célja az is, hogy a kvantummechanika példáján keresztül bemutassa a tudományos gondolkodásmód sajátosságait, a különböző absztrakciós szintek kialakulását, az elmélet-kísérlet egymásra hatását. Ennek kapcsán a tantárgy (a téma természeténél fogva) nem kerülhet meg alapvető filozófiai (ismeretelméleti) kérdéseket. Így a filozófia (és a „világ megértése”) iránt érdeklődő hallgatóknak (és ki nem az 19-20 éves korban?!) is kellő alapot nyújt a későbbi esetlegesen ez irányú tanulmányokhoz.

A tantárgy oktatásának módja: Az alkalmazott didaktikai módszert a fenti célkitűzések határozzák meg. A tantárgy „elméleti” jellegéből fakad, hogy a hagyományos értelemben vett (az eddigi Fizika tárgyban megszokott) „probléma megoldásokkal” nem foglalkozik. A néha bemutatott rendkívül egyszerű példák célja csupán az, hogy az elméleti megfontolások végeredményeként matematikai alapon megkapott törvények megértését és (esetleges) memorizálását könnyebbé tegye.

A cél a kvantummechanikában alkalmazott gondolkodásmód és szemlélet alapszintű elsajátítása, majd ezek alkalmazása a szilárdtestfizikában.

A tantárgy elsősorban az elméleti beállítottságú hallgatók érdeklődését fogja kielégíteni. De reményeink szerint a gyakorlatias hallgatók számára is hasznos ismereteket nyújt éppen a megszokott „szemléletes modellek” korlátainak bemutatásával. Ugyanakkor felhívja a figyelmet azokra az effektusokra, amelyek a jövő elektronikájának fejlődési irányait kijelölhetik. Bízunk abban, hogy a legtöbb hallgatót megragadja majd a kvantummechanikában rejlő gondolatok szépsége. A megismerés és a tudás örömét kívánjuk minden (ezt az előadást választó) hallgatóknak.

Követelmények: A szorgalmi időszakban két nagy ZH-t íratunk. Az elérhető maximális pontszám $15+25=40$. Ez a félévi érdemjegybe beszámít.

A ZH pótlására nincsen lehetőség. Igazolt mulasztás esetén a ZH-ban elérhető pontok megszerzésére a szóbeli vizsgán van lehetőség.

A vizsga írásbeli és esetlegesen szóbeli.

A ZH-n és az írásbeli vizsgán a mellékelt, egyszerű válaszokat igénylő kérdések szerepelnek.

A feltett kérdések egyszerű feladat formájában is szerepelhetnek.

A félévi osztályzat kialakítása a két ZH-n szerezhető maximálisan 40 pont és az írásbelin megszerezhető maximálisan 60 pont összege alapján az alábbiak szerint történik.

0 – 45 pont elégtelen (1)

46-60 pont elégséges (2)

61-75 pont közepes (3)

76-90 pont jó (4)

91-100 pont jeles (5)

Az összpontszám alapján megajánlott jegyet a szóbeli vizsgán javítani, de rontani is lehet.

Irodalom

Kötelező:

Orosz László: Előadás vázlat (kézirat)

Ajánlott:

Nagy Károly: Kvantummechanika (Tankönyvkiadó)

Konrad Kreher: Szilárdtestfizika (Tankönyvkiadó)

Kittel, Charles: Bevezetés a Szilárdtestfizikába (Műszaki könyvkiadó)

A SZÁMONKÉRÉSKOR A KÉRDÉSEK EGYSZERŰ FELADATOK FORMÁJÁBAN IS SZEREPELHETNEK!

KVANTUMMECHANIKA

1. Az adott $\omega(k)$ diszperziós összefüggés alapján adja meg a fázissebesség és a csoportsebesség definícióját!
2. Adott hullámcsomag esetén értelmezze a csoportsebesség fogalmát!
3. Adja meg a $\psi(x,t)$ hullámcsomag és $c(k)$ spektruma jellemzői között fennálló jellegzetes összefüggést!
4. Sorolja fel azon fizikusok nevét, akik munkájukkal a kvantummechanika kifejlődéséhez hozzájárultak!
5. Adja meg az „abszolút fekete test” definícióját és a használatos modelljét!
6. Rajzolja fel a fekete test spektrális emisszióképességét megadó kísérleti görbéket $T_1 < T_2$ hőmérsékletek esetén!
7. Ismertesse a testek spektrális emisszióképességének elméleti meghatározására szolgáló modellt!
8. Adja meg a Planck-féle sugárzási formulát!
9. Ismertesse a Planck által bevezetett „kvantálási hipotézis”-t!
10. Ismertesse a fényelektromos jelenségét!
11. Ismertesse a fényelektromos jelenség Einstein által megadott magyarázatát!
12. Mi a foton?
13. Ismertesse a Compton effektust. Mi volt a jelentősége?
14. Ismertesse a Rutherford kísérletet és eredményét!
15. Ismertesse az atomok vonalas szintképét megadó általános Balmer formulát
16. Adja meg a Bohr-féle atommodell posztulátumát!
17. Adja meg a Bohr-Sommerfeld féle kvantálási feltételt harmonikus lineáris oszcillátor esetén.

18. Adja meg a Bohr-Sommerfeld-féle kvantálási feltélt egyenletes körmozgás esetén!
19. Adja meg a Hidrogén atom energiaszintjeit!
20. Ismertesse a Franck-Hertz kísérletet!
21. Ismertesse a de-Broglie hullámok jellemző tulajdonságait!
22. Adja meg a Hidrogén atomban kialakuló stacionárius elektronállapotok de-Broglie szerinti magyarázatát!
23. Ismertesse a Davisson-Germer kísérletet!
24. Írja fel az időfüggő Schrödinger egyenletet!
25. Írja fel az időtől független Schrödinger egyenletet!
26. A $\psi(r)$ állapotfüggvényhez tartozó energia E . Adja meg az időfüggő állapotfüggvényt!
27. Mit jelent egy parciális differenciálegyenlet szeparálása (azaz a változók szétválasztása)?
28. Végezze el az időfüggő Schrödinger egyenlet szeparálást!
29. Sorolja fel a közönséges differenciálegyenletek megoldásánál használt ún. „polinom módszer” fő lépéseit!
30. Adja meg a hullámfüggvény fizikai értelmezését!
31. Sorolja fel a hullámfüggvényre kirótt regularitási feltételeket!
32. Adott $V(x)$ potenciális energia esetén rajzolja fel kvalitatíve helyesen az n -ik energiaszinthez tartozó állapotfüggvényt! Egyértelműen jelölje be az inflexiós pontokat!
33. Adja meg egy (szögletes) potenciálvölgyben lévő elektron hullámfüggvényének analitikus alakját az egyes jellegzetes tartományokban!
34. Adja meg a diszkrét energiaszintek kvantumszámoktól függését 1 és 3 dimenziós potenciáldoboz esetén, valamint a kvantumszámok lehetséges értékét is!
35. Adja meg a sajátfüggvények matematikai alakját 1 és 3 dimenziós potenciáldoboz esetén.

36. Adott egy egydimenziós potenciál doboz. Rajzolja fel az n-ik energiaszinten lévő részecske állapotfüggvényét és a tartózkodási valószínűséget megadó függvényt!
37. Potenciáldobozban lévő részecske energiaspektruma hogyan adja vissza a klasszikus fizikai eredményeket?
38. Szemléltesse egy háromdimenziós potenciáldobozban lévő részecske megadott kvantumszámokkal definiált állapotát!
39. Határozza meg a háromdimenziós potenciáldobozban kialakuló n-ik energiaszinthez tartozó állapotfüggvények számát (degeneráltsági fokát)!
40. Adja meg egy lineáris harmonikus oszcillátor energiaszintjeit és a hozzájuk tartozó állapotfüggvényeket!
41. Rajzolja fel egy harmonikus lineáris oszcillátor n-ik energiaszintjéhez tartozó állapotfüggvényét és a tartózkodási valószínűség sűrűségét megadó függvényt!
42. Adott a $\psi(r)$ állapotfüggvény. Adja meg a hozzá tartozó valószínűségi áramsűrűség függvényt!
43. Írja fel a Gamow formulát és annak fizikai jelentését!
Adja meg a formula „geometriai” szemléltetését!
44. Ismertesse a hideg-emisszió (téremisszió) jelenségét!
45. Rajzolja fel a transzmissziós tényező energiától való függését megadó görbét négyzetes potenciálgát esetén.
Értelmezze jellegzetes ($T=1$) pontjait!
46. Ismertesse a rezonáns alagúteffektus jelenségét!
47. Sorolja fel a kvantummechanika posztulátumait!
48. Adja meg a Hilbert-tér általunk használt legfontosabb tulajdonságait!
49. Adja meg a Hilbert tér egy elemének adott bázis szerinti sorfejtését. Adja meg a sorfejtési együtthatók kiszámításának a módját!
50. Mit nevezünk operátornak?
51. Milyen algebrai műveleteket definiálunk az operátorok között?
52. Adja meg két operátor „kommutátorát”!
53. Adja meg a lineáris operátorok definícióját!
54. Adja meg az adjungált operátorok definícióját!

55. Adja meg az önadjungált operátorok definícióját!
56. Mit nevezünk egy operátor sajátértékének és sajátfüggvényének?
57. Milyen tulajdonságai vannak egy önadjungált (hermitikus) operátor sajátértékének és sajátfüggvényeinek?
58. Adja meg a felcserélhető operátorok sajátfüggvényeinek kapcsolatát!
59. Milyen operátorokat rendelünk az alábbi fizikai mennyiségekhez:
 $x, y, z, p_x, p_y, p_z, L_x, L_y, L_z, H, E_{\text{kin}}, V, L^2$.
60. Oldja meg az \hat{x} operátor sajátérték egyenletét!
61. Oldja meg a \hat{p}_x operátor sajátérték egyenletét!
62. Hogyan értelmezzük egy dinamikai változó mérését a kvantummechanikában?
63. Írja fel az Ehrenfest tételt (általános esetben)!
64. Adja meg az energia és az idő között fennálló határozatlansági relációt és annak fizikai értelmezését!
65. Adja meg a kvantummechanika és a klasszikus mechanika kapcsolatát kifejező összefüggéseket egyetlen tömegpont esetén!
66. Adja meg két dinamikai változó között fennálló ún. határozatlansági relációt. Értelmezze ennek fizikai tartalmát!
67. Adja meg a spektrumvonalak természetes vonalszélességének kvantummechanikai magyarázatát!
68. Adja meg egy zárt pályán mozgó elektron perdülete és a pályamozgásból adódó mágneses momentuma közötti összefüggést!
69. Adja meg a perdület z irányú komponenséhez rendelt \hat{L}_z operátor polárkoordinátás alakját!
70. Adja meg a perdület z irányú komponensének lehetséges értékeit!
71. Adja meg a perdület nagyságának lehetséges értékeit!
72. Adja meg a pályamozgásból adódó mágneses dipólmomentum z irányú komponenséhez rendelt operátor polárkoordinátás alakját!
73. Adja meg a pályamozgásból adódó mágneses dipólmomentum nagyságának és z irányú komponensének lehetséges értékeit!

74. Adja meg centrális erőtér esetén a $V_{\text{eff}}(r)$ ún. effektív potenciális energia definícióját!
75. Adott $V_{\text{eff}}(r)$ esetén adja meg az E energiához tartozó klasszikus pálya alakját!
76. Adja meg centrális erőtérben mozgó részecske energiájára és perdületére vonatkozó egyenlőségi relációk grafikus magyarázatát!
77. Adja meg centrális erőtérben mozgó részecske esetén felírható jellegzetes csererelációkat!
78. Szemléltesse a pályaperdület kvantálási tulajdonságait vektorábra segítségével!
79. Adja meg a hidrogén atom energiaszintjeinek, grafikus értelmezését az $V_{\text{eff}}(r)$ effektív potenciális energia ismeretében a Bohr-féle atommodellben.
80. Adja meg a hidrogén atom E_n energiaszintjeinek, és az l mellékkvantumszám lehetséges értékeinek grafikus értelmezését az effektív $V_{\text{eff}}(r)$ potenciális energia ismeretében a kvantummechanikai atommodellben.
81. Adja meg az állapotfüggvény általános alakját centrális erőtér esetén!
82. Adja meg centrális erőtérben mozgó részecskék esetén a radiális állapotfüggvény fizikai értelmezését!
83. Adja meg a kvantumszámok fizikai értelmezését a hidrogén atom elektronállapotai esetén!
84. Adja meg egy Z rendszámú atom elektronszerkezetét a tanult ún. blokkdiagram segítségével.
85. Adja meg az alhéjak betöltési sorrendjét atomok esetén!
86. Adja meg a p_x és p_y állapotok definícióját!
87. Szemléltesse az S , p_x , p_y , p_z állapotokat!
88. Ismertesse Larmor körfrekvencia fizikai jelentését!
89. Adja meg egy B mágneses térbe helyezett H atom energiaszintjeit.
90. Adja meg a H atom ω_{21} spektrumvonalának mágneses térben történő felhasadását és annak kvantummechanikai magyarázatát!
91. Ismertesse a Stern-Gerlach kísérletet és eredményét!

92. Ismertesse az Einstein-de Haas kísérletet és eredményét.
93. Ismertesse a Goudsmit-Uhlenbek elméletet.
94. Adja meg az elektron spinjének a nagyságát és z irányú komponensének lehetséges értékeit!
95. Adja meg az elektron saját mégneses momentumának a nagyságát és z irányú komponensének lehetséges értékeit.
96. Írja fel egy N elektrontól álló rendszer Hamilton operátorát.
97. Mit jelent az, hogy egy hullámfüggvény „antiszimmetrikus”?
98. Mit nevezünk determináns hullámfüggvénynek?
99. Ismertesse a Pauli elvet.
100. Mi az alapvető különbség egyrészecske közelítés esetén a szimmetrikus és az antiszimmetrikus hullámfüggvények között, ha azok a rendszer alapállapotát adják meg?
101. Mit nevezünk egy részecske „spin-pálya” állapotának?
102. Mi a „spin-pálya kölcsönhatás”?
103. Adja meg egy elektron spin-pálya állapotát, ha a spin-pálya kölcsönhatást elhanyagoljuk.
104. Írja fel a He atom elektronállapotait megadó Schrödinger egyenleteket független részecske és a Hartree közelítés esetén.
105. Mit nevezünk SCF módszernek?
106. Adja meg a termodinamikai valószínűséget Fermi-Dirac és Bose-Einstein statisztika esetén.
107. Adja meg a Bose-Einstein és a Fermi Dirac statisztika eloszlásfüggvényét!
108. Mi a fizikai tartalma a statisztikus fizikában bevezetett eloszlásfüggvénynek?
109. Rajzolja fel a Bose-Einstein és a Fermi-Dirac eloszlásfüggvényeket adott kémiai potenciálok esetén!
110. Hogyan határozzuk meg a kémiai potenciál értékét?
111. Adott egy fermionokból álló rendszer állapotsűrűsége. Határozza meg, hogy a hőmérséklet emelésével a Fermi szint növekedik-e vagy csökken!
112. Mi a fizikai jelentése annak, ha egy bozonrendszerben kémiai potenciál állanód (pl. zérus).

113. Adja meg egy merev falakkal határolt kocka alakú rugalmas test sajátrezgéseinek frekvencia szerinti eloszlását (módussűrűség).
114. Adja meg a Debye hőmérséklet definícióját!
115. Rajzolja fel a szilárd testek molhőjének hőmérséklettől való függését megadó ábrát!
116. Adja meg egy szilárd test molhőjét alacsony ($T=0$ közelében) hőmérsékleten!
117. Adja meg az elektronok energia szerinti eloszlásfüggvényét szabad elektrongáz esetén.
118. Adja meg az ω frekvenciájú fotonok átlagos számát T hőmérsékletű fotongáz esetén!
119. Rajzolja fel kettős potenciálvölgy esetén a „felhasadt” energiaszintekhez tartozó állapotfüggvényeket!
120. Definiálja az elliptikus koordinátákat!
121. Miért használunk elliptikus koordinátarendszert a H^+_2 ion tárgyalása esetén?
122. Adja meg a használatos molekulapálya jelölések értelmezését!
123. Rajzolja fel a H^+_2 (hidrogénmolekula) ion energiájának függését a protonok közötti távolságtól!
124. Rajzolja fel a molekulapályát adott atompályák kombinálása esetén!
125. Mi a feltételes szélsőérték feladat megoldásánál használt Lagrange módszerének a lényege?

A SZÁMONKÉRÉSKOR A KÉRDÉSEK EGYSZERŰ FELADATOK FORMÁJÁBAN IS SZEREPELHETNEK!

SZILÁRDTESTFIZIKA

1. Definiálja az állapotsűrűség fogalmát!
2. Rajzolja fel a szabadelektron gáz állapotsűrűségét megadó függvényt!
3. Definiálja a Fermi szintet szabadelektron gáz esetén!
4. Adja meg a szabadelektron gáz Fermi szintjét és átlagos energiáját!
5. Definiálja a Fermi hőmérsékletet. Adja meg a nagyságrendjét!
6. Adja meg T hőmérsékletű szabadelektron gázban a gerjesztődött elektronok átlagos számát!
7. Adja meg a hőkapacitás definícióját!
8. Adja meg az elektron gáz moláris hőkapacitását!
9. Adja meg a Dulong-Petit törvényt!
10. Két szilárd test szoros érintkezésekor miért „egyenlítődnek ki” a Fermi szintek?
11. Adja meg a kontakt potenciál kialakulásának fizikai magyarázatát!
12. Adja meg a Born-Kármán féle periodikus határ-feltételt (1 és 3 dimenziós kristály esetén) és annak fizikai tartalmát!
13. Írja fel a Bloch tételt. Adja meg a fizikai tartalmát!
14. Írja fel a Bloch állapotot megadó hullámfüggvényt!
15. Írja fel a Bloch állapotot meghatározó Schrödinger egyenletet! Milyen számítástechnikai előnnyel jár ennek használata? (Használjon egydimenziós modellt!)
16. Adja meg a Brillouin zóna definícióját (Bloch állapotok szimmetria tulajdonságai alapján)!
17. Szemléltesse a szilárdtestek energiasáv szerkezetének magyarázatát a Bloch állapotok alapján (1 dim modell)!
18. Írja fel a Bloch állapotot LCAO módszer felhasználásával (1 dimenziós modell)!
19. Rajzolja fel a szilárdtestek sáv szerkezetének és a szabad atom energiaszintjeinek kapcsolatát megadó ábrát? (1dimenziós modell)

20. Rajzolja fel üresrács modell esetén a „sávábrát”! Hogyan alakul ki ebből a sáv szerkezet?
21. Adja meg egy Bloch állapotokból felépített hullámcsomag jellegzetes adatit! (1dimenziós modell)
22. Adja meg az effektív tömeg közelítés fizikai tartalmát!
23. Írja fel az effektív tömeg definícióját!
24. Rajzolja fel egy 1 dimenziós kristály esetén a csoportsebesség és az effektív tömeg k -tól való függését megadó ábrát!
25. Parabolikus sávszél esetén hogyan használható az effektív tömeg fogalma a vezetési sávban lévő elektronok dinamikájának leírására szolgáló egyszerű modellalkotás esetén? (1 dimenziós modell).
26. Rajzolja fel a Hall-effektust megmagyarázó fizikai elrendezést!
27. Definiálja a „lyuk” fogalmát!
28. Adott sáv szerkezet esetén adja meg a lyuk sebességének és effektív tömegének a definíciós képletét! (1 dimenziós modell).
29. Adott sáv szerkezet esetén döntse el, hogy az elektronok vagy a lyukak effektív tömege-e a nagyobb!
30. Egydimenziós modellen mutassa be az eljárást, amelyet a vezetőképesség meghatározására használtunk!
31. Írja fel a Boltzmann egyenletet (1 dimenziós modellben, stacionárius állapotban és homogén anyag esetén)!
32. Definiálja a relaxációs időt!
33. Írja fel a vezetőképességet meghatározó összefüggést!
34. Adja meg a fajlagos vezetőképesség meghatározásánál használt közelítéseket!
35. Adja meg a mozgékonyág definícióját!
36. Mit jelent a translációs és a pont (csoport) szimmetria?
37. Mi az atomi bázis?
38. Mi az elemi cella?
39. Mi a primitív cella?
40. Mi a Bravais cella?
41. Mi a Wigner-Seitz cella?
42. Adja meg adott kristálysík Miller indexeit (és viszont)!
43. Adja meg adott irány Miller indexeit (és viszont)!
44. Sorolja fel a kristálytani osztályokat és azok jellemzőit!

45. Sorolja fel a rácstípusokat (4 db.) és azok jellemzőit!
46. Rajzolja le gyémánszerkezet esetén a jellegzetes kötési irányokat!
47. Adja meg a reciprok bázis definícióját!
48. Rajzolja le az adott kétdimenziós rácshoz tartozó reciprok pontrácsot és rajzolja le a Brillouin zónákat!
49. Adott egy „ k ” vektor a Brillouin zónában (2 dimenziós modell). Rajzolja le a megfelelő Bloch állapotot szemléltető hullámfrontokat (vonalakat)!
50. Adott kétdimenziós modell esetén ismertesse a Fermi felületeket és a sáv szerkezet (diszperziós reláció) közötti kapcsolatot!
51. Rajzoljon fel olyan diszperziós relációt (sáv szerkezetet) amelynél sávátfedés van, illetve nincsen!
52. Adja meg adott k állapotban a v sebességvektort!
53. Definiálja az effektív tömeg tenzont!
54. Értelmezze a kristályban lévő elektronok mozgását homogén külső elektromos tér esetén (2 dimenziós modell)!
55. Értelmezze a kristályban lévő elektronok mozgását homogén külső mágneses tér esetén (2 dimenziós modell)!
56. Rajzolja fel egy (modell) félvezető jellegzetes állapotosságát!
57. Szemléltesse az állapotosság segítségével a „sávátfedés” jelenségét!
58. Adott félvezető állapotosság esetén határozza meg a Fermi szint helyzetét!
59. Adja meg a vezetési sávban lévő elektronok számát meghatározó összefüggést!
60. Adja meg a lyukak számát meghatározó összefüggést!
61. Miért és hogyan függ a félvezetők fajlagos vezetőképessége a hőmérséklettől?
62. Határozza meg félvezetők esetén egy szennyező atom által létrehozott energianívókat (donor illetve akceptor)!
63. Rajzolja fel adalékolt félvezetők esetén a Fermi szint hőmérséklettől való függését megadó ábrát. Értelmezze a jelenséget!
64. Rajzolja fel egy p-n átmenet sáv szerkezetét megadó ábrát. Értelmezze a fellépő fizikai jelenséget!
65. Rajzolja fel a „nyitás/zárás” jelenségét adott p-n átmenet esetén!
66. Adja meg a sp^3 hibrid pályák bevezetésének a fizikai okait!
67. Szemléltesse a megadott sp^3 hibrid pályát!
68. Rajzolja fel az energiasávok kialakulását szemléltető ábrát lazító és kötő hibrid pályák alkalmazása esetén!

69. Ismerje fel és azonosítsa a Si, Ge, GaAs elektron sávszerkezetét!
70. Ismertesse a Gunn effektust!
71. Ismertesse a szilárd testek optikai tulajdonságait a jellegzetes sávszerkezetük alapján (direkt-indirekt optikai átmenet)!
72. Hogyan lehet megvalósítani ún. kvantum völgyeket?
73. Ismertesse a kvantált Hall effektus jelenségét!