

*zimski semestar (I. kolokvij)*

1. Poteškoće klasične teorije u objašnjavanju nekih eksperimenata.  
Uvodjenje kvantne hipoteze i stara kvantna teorija.  
Konceptualne poteškoće Bohr Sommerfeldovih pravila.
  2. Analogija između klasične i kvantne fizike: Klasična mehanika i geometrijska optika, valna jednačba i Schrodingerova jednačba  
Uvođenje valne funkcije za opisivanje materije. De Broglijeve relacije.
  - 2a. Statistička interpretacija kvantne fizike. Dvojtvo val - čestica
  3. Valni paket (u 1 D). Konstrukcija, značenje, gibanje-širenje.  
Veza s relacijama neodređenosti. Minimalni valni paket
  4. Opservable u kvantnoj fizici. Inkompatibilne i kompatibilne fizikalne veličine.  
Heisenbergove relacije neodređenosti.
  5. Konstrukcija Schrodingerove jednačbe. Svojstva Schrodingerove jednačbe.  
Analogija s H-J formulacijom klasične fizike.
  6. Značenje i svojstva valne funkcije. Jednačba kontinuiteta: gustoća i struja  
vjerojatnosti. Primjer: Slobodna čestica
  7. Vremenski ovisna Schrodingerova jednačba. Rješenja za slobodnu česticu
  8. Vremenski neovisna Schrodingerova jednačba.  
Stacionarna stanja. Rubni uvjeti, vrste i svojstva rješenja, kvantizacija energije.
  9. Vremenska ovisnost prosječne vrijednosti neke opservable.  
Ehrenfestov poučak. Veza s klasičnim jednačbama gibanja
- 
10. Hermitski operatori, definicija, svojstva
  11. Unitarni operatori, definicija, svojstva
  12. Razlozi prikaza fizikalnih stanja i veličina (opservabla) vektorima i operatorima. Veza s mjerenjima i relacijama neodređenosti
  13. Prikaz stanja i fizikalnih veličina u Hilbertovom prostoru. Veza s konkretnom reprezentacijom, npr. pomoću valnih funkcija
  14. Konjugirane opservable. Komutacijska pravila za konjugirane opservable i relacije neodređenosti.
  15. Schrodingerova i Heisenbergova slika.
  - 15a. Heisenbergova jednačba gibanja za operator

- 15b. Vremenska promjena srednjih vrijednosti opservabla
16. Unitarne transformacije, operator vremenske evolucije  $U(t,t')$  ( u Schrodingerovoj slici)
17. Slika međudjelovanja, operator vremenske evolucije  $U(t,t')$
18. Što su inkompatibilne, a što kompatibilne opservable. Dokažite da operatori međusobno komutiraju ako i samo ako imaju zajedničke vlastite vektore.
19. Harmonički oscilator u 2. kvantizaciji, operatori stvaranja i poništenja, spektar energija, prikaz pomoću valnih funkcija.
20. Prikaz fizikalnih veličina u 2. kvantizaciji: impuls, kinetička i potencijalna energija, dvočestična interakcija
21. U Diracovoj notaciji napravite razvoj stanja sistema po svojstvenim stanjima operatora A. Koeficijenti razvoja? Dokažite da svojstvena stanja operatora A moraju zadovoljavati relacijama potpunosti.
22. Napravite prijelaz sa prikaza stanja u Diracovoj notaciji u koordinatnu reprezentaciju (valnih funkcija!). Napišite relacije potpunosti kada je uključen i diskretni i kontinuirani spektar.
23. Prevedite izraz za matični element operatora u Diracovoj notaciji u koordinatnu reprezentaciju (valnih funkcija!).
24. Dokažite da svojstvena stanja operatora A moraju biti ortonormirana.
25. Dokažite da operator pridružen nekoj fizikalnoj opservabli mora biti hermitski.
26. Dokažite da su  $x$  i  $p$  hermitski operatori.
27. Konstante gibanja.  
Dokažite da je opservabla koja komutira sa hamiltonijanom konstanta gibanja.
28. Veza simetrije problema (potencijala), konstanta gibanja i kvantnih brojeva.  
Primjeri: translacija, rotacija, inverzija.
29. Potpun skup komutirajućih operatora i njihove svojstvene funkcije. Primjeri

---

30. Potencijalni skok - refleksija i transmisija valova materije, fazni pomaci.
31. Raspršenje na odbojnom potencijalu - transmisija, refleksija, tuneliranje.
32. Raspršenje na konačnoj potencijalnoj jami - rezonancije.
33. Vezana stanja konačne i beskonačne potencijalne jame.
34. Linearni harmonički oscilator. Valne funkcije, spektar energija. Primjeri u fizici.

35. Čestica u 3D kutiji. Valne funkcije, rubni uvjeti, kvantni brojevi, energije, degeneracija stanja.
  36. Čestica u 3D kutiji kada  $L$  raste : kvantni brojevi, energije.  
Gustoća stanja, lokalna gustoća stanja, gustoća. Periodični rubni uvjet.  
Primjer - Sommerfeldov model metala.
  37. Gustoća stanja slobodnih čestica u 1, 2 i 3 dimenzije. Odnos kontinuiranog i diskretnog spektra
  38. Pokažite vezu između invarijantnosti hamiltonijana na translaciju i očuvanja impulsa.
  39. Trodimenzionalni harmonički oscilator: anizotropni, izotropni. Valne funkcije, energije, degeneracija
  40. Schrodingerova jednačica za vodikov atom. Relativne koordinate i reducirana masa. Odvajanje gibanja težišta.
  41. Schrodingerova jednačica u centralnosimetričnom potencijalu.  
Separirana valna funkcija, kvantni brojevi i sačuvane veličine.  
Uvjet za energiju, degeneracija.
  42. Invarijantnost hamiltonijana na rotaciju i očuvanje angularnog momenta.
  43. Operator angularnog momenta u sferičnim koordinatama.
  44. Svojstvena stanja te svojstvene vrijednosti operatora angularnog momenta  
Komutacijska pravila za operatore angularnog momenta
  45. Slobodna čestica u sferičnim koordinatama. Valne funkcije i energije  
Razvoj ravnog vala u Besselove i kugline funkcije
  46. Stanja čestice u sferičnoj potencijalnoj jami. Valne funkcije i energije
  47. Vezana stanja čestice u kulonskom potencijalu: energije vezanja, valne funkcije i gustoće. Degeneracija
- 
48. Schrodingerova jednačica za  $N$  identičnih čestica u jednočestičnim potencijalima.  
Faktorizacija  $N$ -čestične valne funkcije. Simetrizacija i antisimetrizacija rješenja, veza spina i statistike
  49. Paulijev princip isključenja, spin i statistika, fermioni, bozoni.  
Bose-Einsteinova i Fermi-Diracova raspodjela.  
Slobodne čestice: fermionski plin, Slaterova determinanta.
  50. Izgradnja periodičkog sustava elemenata. Energijske ljuške. Veza elektronske strukture i kemijskih svojstava. Specifične grupe elemenata.
-

51. Stacionarni račun smetnje (nedegenerirani slučaj). Popravka energije (1. i 2. red) i valne funkcije (1. red)  
Primjer: helijev atom.
  52. Stacionarni račun smetnje (degenerirani slučaj). Uklanjanje degeneracije  
Čestica u vanjskom elektromagnetskom polju. Izvod hamiltonijana. Značenje pojedinih članova
  53. Atom u vanjskom električnom polju. Hamiltonijan Starkov efekt (linearni, kvadratni).
  54. Atom u vanjskom magnetskom polju. Hamiltonijan Normalni Zeemanov učinak.
  55. Varijacijski račun.  
Primjer: osnovno stanje helijevog atoma.
  56. Poluklasična aproksimacija-WKB metoda.  
Valne funkcije i granice primjenjivosti.
  57. Određivanje energija vezanih stanja pomoću WKB aproksimacije te usporedba s nekim točnim rezultatima. Analogija s Bohr-Sommerfeldovim pravilima.
  58. Vjerojatnost tuneliranja pomoću WKB aproksimacije i usporedba sa nekim točnim rezultatima.  
Primjeri tuneliranja u WKB aproksimaciji
  59. Alfa-raspad. Opis procesa, potencijali, vjerojatnost tuneliranja. Poluvrijeme raspada
- 

\*\*\*\*\*

***ljetni semestar (II. kolokvij)***

60. Spin elektrona, eksperimentalna potvrda (Stern-Gerlach), opis pomoću spinora,
  61. Spinori, Paulijeve matrice i njihova svojstva
  62. Hamiltonijan elektrona u magnetskom polju i vezanje spin-staza
  41. 63. Zbrajanje angularnih momenata, izbor baze, Clebsch-Gordanovi koeficijenti, primjer: dva spina  $\frac{1}{2}$
  64. Zbrajanje angularnih momenata, izbor baze, Clebsch-Gordanovi koeficijenti, primjer: spin i staza
  65. Fina struktura atomskih linija
  66. Atomi elektrona u magnetskom polju, anomalni Zeemanov učinak
  67. Atomi elektrona u magnetskom polju, Paschen Backov učinak
-

68. Potencijalno raspršenje, opći pojmovi, udarni presjek pomoću amplitude raspršenja
  69. Metoda parcijalnih valova, amplituda raspršenja i fazni pomaci ; valjanost metode
  70. Metoda parcijalnih valova: ukupni udarni presjek, optički teorem, značenje
  71. Metoda parcijalnih valova: Raspršenje na mekoj kugli, niskoenergetske rezonancije (Ramsauer, Townsend)
  72. Metoda parcijalnih valova: Raspršenje na tvrdoj kugli, usporedba s klasičnim rezultatom
  73. Integralni izraz za valnu funkciju, Lippmann- Schwingerova jednačba za Greenovu funkciju i amplituda višestrukog raspršenja
  74. Prva Bornova aproksimacija : Raspršenje na zasjenjenom kulonskom potencijalu
  75. Bornov razvoj, prva Bornova aproksimacija, valjanost.
  76. Prva Bornova aproksimacija: Raspršenje na privlačnom kuglastom potencijalu
- 
77. Vremenski ovisni potencijali, matrična jednačba za koeficijente valne funkcije
  78. Dvorazinski sistem pod utjecajem periodične smetnje, promjene popunjenosti stanja, primjeri u fizici
  79. Vremenski ovisni potencijali: amplituda, vjerojatnost i brzina prijelaza
  80. Vremenski račun smetnje: Slika interakcije, operator vremenske evolucije, Dysonov razvoj
  81. Vremenski račun smetnje: Procesi 1. reda, elastični prijelazi, Fermijevo zlatno pravilo
  82. Vremenski račun smetnje: Monokromatska smetnja – udarni presjek za absorpciju zračenja
  83. Vremenski račun smetnje: Fotoemisija iz atoma – vjerojatnosti prijelaza i udarni presjek
  84. Vremenski račun smetnje: Elastični procesi 1. i 2. reda
  85. Vremenski račun smetnje: Princip detaljne ravnoteže, izvod, značenje
- 
86. Energijski nivoi u molekuli, Born-Oppenheimerova aproksimacija, načelo, primjena u separaciji Schrodingerove jednačbe
  87. Vodikov ion u Heitler-Londonovoj aproksimaciji, doprinosi energiji vezanja, potencijalne krivulje/plohe

88. Vodikova molekula u Heitler-Londonovoj aproksimaciji, doprinosi energiji vezanja, potencijalne krivulje/plohe
  89. Kvantnomehanički kruti rotator – valne funkcije i energije
  90. Vibracije i rotacije molekula separacijom Schrodingerove jednađbe, vib-rot spektri,
  91. Empirijski potencijali za vibracije, konstrukcija, stanja, harmonička aproksimacija
  92. Van der Waalsova interakcija
- 
93. Klein-Gordonova jednađba, izvod, oblik, konceptualne poteškoće
  94. Diracova jednađba, izvod, svojstva i prikaz  $\alpha$  i  $\beta$  matrica
  95. Diracova jednađba, rješenja za slobodnu česticu, interpretacija rješenja
  97. Nerelativistički limes Diracove jednađbe: velike i male komponente valne funkcije