

Tartalomjegyzék

Előszó	13
1. A kvantumelmélet kezdetei	17
1.1. A Planck-féle sugárzási törvény és a szigetelő kristályok hőkapacitása	17
1.2. A fényelektromos jelenség: Lénárd és Einstein	21
1.3. Az atomos gázok színképe: a Rutherford-modelltől a Bohr-modellig	23
1.4. De Broglie: a Bohr-formula értelmezése anyaghullámokkal	25
2. Az anyaghullámok elemi tulajdonságai	29
2.1. Interferenciakísérletek elektrontól C_{60} -ig	29
2.2. A szuperpozíció elve	31
2.3. Hullámcsomag, csoportsebesség	33
2.4. Mozgás erőterben	35
2.5. Szemiklasszikus mozgás és átmenet a klasszikus mechanikába	36
2.6. Határozatlansági reláció	37
2.7. Az alapállapot mérete és energiája	39
2.8. Véletlenszerűség és a Born-féle statisztikus értelmezés	40
2.9. Állóhullámok: anyagmegmaradás és komplex amplitúdó	42
3. Schrödinger-egyenlet egy részecskére	45
3.1. A Schrödinger-egyenlet „levezetése”	45
3.2. A kvantumállapot és a Hamilton-operátor	48
3.3. A hely és impulzus felcserélési relációja	50

3.4. Stacionárius állapotok és az időtől független Schrödinger-egyenlet	51
4. A Schrödinger-egyenlet megoldásainak tulajdonságai	53
4.1. Normálás	53
4.2. A határfeltételek és a spektrum	54
4.3. Anyagmegmaradás és komplex hullámfüggvény: a kontinuitási egyenlet	56
5. A Schrödinger-egyenlet egyszerű megoldásai	57
5.1. Végtelen potenciálgödör kötött állapotai	58
5.2. Tükrözési szimmetria, páros és páratlan megoldások	60
5.3. Véges potenciálgödör	61
5.4. A dobozba zárt részecske, ciklikus határfeltétel, cellák a fázistérben	64
5.5. Alagúteffektus és rezonanciaszórás	67
5.6. A harmonikus oszcillátor stacionárius állapotai	71
6. Az általános formalizmus	75
6.1. Hullámfüggvény és kvantumállapot; megfigyelhető fizikai mennyiségek és operátorok	76
6.2. A mérés statisztikája	78
6.3. Az állapotok Hilbert-tere; teljesség; a kvantummechanikai átlag	80
6.4. Önadjungált operátorok	84
6.5. Operátorok és mátrixok; unitér transzformációk	85
6.6. Folytonos mátrixok; koordináta- és impulzus-reprezentáció	89
6.7. Sűrűségmátrix és Wigner-függvény	91
7. Közvetlen következmények	97
7.1. Határozatlansági relációk	97
7.2. Variációs elv a stacionárius állapotokra	99
7.3. Az átlagérték időderiváltja; mozgásállandók; Ehrenfest tételei	100
7.4. Időfejlődés Schrödinger- és Heisenberg-képben	102
7.5. A Hamilton-operátor szimmetriái és a megmaradó mennyiségek	105

Tartalomjegyzék	9
7.6. A folytonos szimmetriák generátorai	108
7.7. Általános szimmetriaműveletek: irreducibilis ábrázolások és a spektrum	110
8. A harmonikus oszcillátor: részletek	111
8.1. Az algebrai módszer: keltő és eltüntető operátorok és mátrixelemeik	111
8.2. Koherens állapotok (kvantumhinta)	114
8.3. Rövid kitekintés: molekularezgések, kristályrezgések, csapdába ejtett ion rezgései	116
8.4. A foton	118
8.5. Kísérletek kétfoton-állapotokkal	125
8.5.1. A Hanbury Brown–Twiss-effektusok	125
8.5.2. A Hong–Ou–Mandel-effektusok	127
9. Impulzusmomentum a kvantummechanikában	131
9.1. A pálya-impulzusmomentum operátora; az impulzusmomentum felcserélési relációi	131
9.2. Schrödinger-egyenlet hengerszimmetrikus potenciállal: a Bohr-féle kvantumfeltétel	133
9.3. Schrödinger-egyenlet centrális erőterben: az energiasajátfüggvények szögfüggése	135
9.4. Szimmetria és szimmetriasértés: paritás; mágneses kvantumszám <i>kontra</i> propellerek és dáliák	138
9.5. Az impulzusmomentum spektruma és mátrixelemei	141
10. A hidrogénatom	145
10.1. A radiális Schrödinger-egyenlet megoldása Coulomb-potenciálra	145
11. Mozgás mágneses térben	151
11.1. Töltött részecske Lagrange-függvénye és Hamilton-operátora mágneses mező jelenlétében	151
11.2. Szabad mozgás: a ciklotron-pályák kvantálása, Landau-szintek	156
11.3. A mértékinvariancia és a vektorpotenciál realitása: Aharonov–Bohm-effektus, fluxuskvantálás	158

12. Spin	165
12.1. A feles spin kvantumelmélete: kétkomponensű spinorok és Pauli-mátrixok	165
12.2. Spinorforgatás, kvázispin, qubit	169
12.3. Feles spin állandó mágneses térben: Larmor-precesszió és Rabi-oszcilláció	170
12.4. Repülő feles spin	173
12.5. A feles spin állapotainak mérése (rekonstrukciója)	175
12.6. Mágneses rezonancia	175
13. Perturbációszámítás	179
13.1. Időtől független perturbációszámítás: elfajult és el nem fajult eset	180
13.1.1. Perturbációszámítás nem elfajult esetben	181
13.1.2. Perturbációszámítás elfajult esetben	183
13.1.3. Szintkeresztezés: amikor nincs és amikor van	183
13.2. Időtől függő perturbációk; kölcsönhatási kép; a Fermi-féle arany szabály	186
13.2.1. Dirac módszere; kölcsönhatási kép	186
13.2.2. Átmenetek a folytonos spektrumban; a Fermi-féle arany szabály	190
13.3. Abszorpció, indukált és spontán emisszió	194
13.3.1. Félklasszikus sugárzáselmélet	196
13.3.2. Spontán emisszió	198
13.3.3. A Planck-törvény Einstein-féle levezetése	203
13.3.4. Dipólátmenetek kiválasztási szabályai	204
14. Szórási folyamatok	207
14.1. Szórás kísérletek: ütközések, reakciók, rugalmatlan és rugalmas szórás, potenciálszórás	207
14.2. Stacionárius potenciálszórás, szórási amplitúdó és hatáskeresztmetszet	208
14.3. Gyors részecske szóródása: Born-közelítés	209
14.4. Összetett tárgy szórási képe	212
14.5. Gömbszimmetrikus potenciál: kifejtés parciális hullámok szerint	213
14.6. Alacsonyenergiás határeset: s-szórás, szórási hossz	216

Tartalomjegyzék	11
15. Többrészecskerendszerek kvantummechanikája	219
15.1. A kölcsönható részecskék összefonódása	219
15.2. Tömegközépponti és belső mozgás; elemi és összetett „részecskék”	221
15.3. Azonos részecskék megkülönböztethetlensége	223
15.4. Kölcsönhatás nélküli azonos részecskék, egyrészecske-állapotok betöltése, átlagtér-közelítés	225
15.5. Atomok és a periódusos rendszer	228
15.6. Viriáltétel	231
15.7. Adiabaticus közelítés, Hellmann–Feynman-tétel	234
15.8. A kémiai kötés	237
15.9. Impulzusmomentumok összeadása	238
15.10. Einstein–Podolsky–Rosen-paradoxon, Bell-egyenlőtlenség	241
15.11. Környezeti kölcsönhatások, dekoherencia és komplementaritás	247
15.12. Dekoherencia és a sűrűségmátrix	250
16. A szemiklasszikus határeset	253
16.1. Hullámfüggvények WKB-közelítésben	254
16.2. Egydimenziós mozgások WKB-közelítésben	256
17. Kvantummérés: téma változatokkal	263
17.1. Kvantum-Zénón-effektus	266
17.2. Kölcsönhatásmentes mérés	268
17.3. Quantum Non-Demolition	268
17.4. Gyenge mérés utószelekcióval	270
17.5. Kvantumugrások	272
17.6. Schrödinger macskája	272
Függelékek	279
A – A Planck-törvény előzményei	279
B – Második kvantálás	281
C – Műveletek koherens állapotokkal	287
D – A Dirac-egyenlet	291

E–Dekoherencia: a master-egyenlet	295
E.1. Kétállapotú rendszer oszcillátorfürdőben: a spin–bozon-modell	297
E.2. Oszcillátor oszcillátorok fürdőjében	303
E.3. Nagy molekula atomos gázban	305
F–Feynman-féle pályaintegrál	309
G–Ion- és atomcsapdák, lézerhűtés	313
H–Kvantum-nanomechanika	317
H.1. Hűtés a nanomechanikában	318
H.1.1. Hígítási hűtés	318
H.1.2. Optikai hűtés	319
H.1.3. Termikus szigetelés a környezettől	320
H.2. Csatolás különböző kvantumrendszerekhez	320
H.2.1. Optomechanika: a foton-tükör csatolás	321
H.2.2. A kvantumosság vizsgálata fotonokkal	322
H.2.3. Csatolás szupravezető qubithez	325
H.2.4. Csatolás nitrogénvakancia-centrumhoz	326
H.3. Igazolni vagy cáfolni a kvantumosságot	326
I–Kvantuminformáció: nagyon rövid áttekintés	329
I.1. A qubitek hordozói	330
I.2. Az alapvető stratégiák	332
I.3. Kvantumtitkosítás	333
I.4. Klónozás és teleportáció	335
Irodalom	337
Tárgymutató	341