

Tartalom

Előszó	13
1. A kvantumelmélet kezdetei	15
1.1. A Planck-féle sugárzási törvény és a szigetelő kristályok hőkapacitása	15
1.2. A fényelektromos jelenség: Lénárd és Einstein	19
1.3. Az atomos gázok színe: a Rutherford-modelltől a Bohr-modellig	20
1.4. De Broglie: a Bohr-formula értelmezése anyaghullámokkal	23
2. Az anyaghullámok elemi tulajdonságai	25
2.1. Interferenciakísérletek elektrontól C_{60} -ig	25
2.2. A szuperpozíció elve	26
2.3. Hullámcsomag, csoportsebesség	29
2.4. Mozgás erőterben	31
2.5. Szemiklasszikus mozgás és átmenet a klasszikus mechanikába	32
2.6. Határozatlansági reláció	33
2.7. Az alapállapot mérete és energiája	35
2.8. Véletlenszerűség és a Born-féle statisztikus értelmezés	36
2.9. Állóhullámok: anyagmegmaradás és komplex amplitúdó	37
3. Schrödinger-egyenlet egy részecskére	39
3.1. A Schrödinger-egyenlet „levezetése”	39
3.2. A kvantumállapot és a Hamilton-operátor	42
3.3. A hely és impulzus felcserélési relációja	44
3.4. Stacionárius állapotok és az időtől független Schrödinger-egyenlet	45
4. A Schrödinger-egyenlet megoldásainak tulajdonságai	47
4.1. Normálás	47
4.2. A határfeltételek és a spektrum	48
4.3. Anyagmegmaradás és komplex hullámfüggvény: a kontinuitási egyenlet	49

5.	A Schrödinger-egyenlet egyszerű megoldásai	51
5.1.	Végtelen potenciálgödör kötött állapotai	52
5.2.	Tükrözési szimmetria, páros és páratlan megoldások	54
5.3.	Véges potenciálgödör	55
5.4.	A dobozba zárt részecske, ciklikus határfeltétel, cellák a fázistérben	58
5.5.	Alagúteffektus és rezonanciaszórás	61
5.6.	A harmonikus oszcillátor stacionárius állapotai	64
6.	Az általános formalizmus	69
6.1.	Hullámfüggvény és kvantumállapot; megfigyelhető fizikai mennyiségek és operátorok	70
6.2.	A mérés statisztikája	72
6.3.	Az állapotok Hilbert-tere; teljesség; a kvantummechanikai átlag	74
6.4.	Önadjungált operátorok	78
6.5.	Operátorok és mátrixok; unitér transzformációk	79
6.6.	Folytonos mátrixok; koordináta- és impulzus-reprezentáció	83
6.7.	Sűrűségmátrix és Wigner-függvény	85
7.	Közvetlen következmények	91
7.1.	Határozatlansági relációk	91
7.2.	Variációs elv a stacionárius állapotokra	93
7.3.	Az átlagérték időderiváltja; mozgásállandók; Ehrenfest tételei	94
7.4.	Időfejlődés Schrödinger- és Heisenberg-képben	96
7.5.	A Hamilton-operátor szimmetriái és a megmaradó mennyiségek	98
7.6.	A folytonos szimmetriák generátorai	101
7.7.	Általános szimmetriaműveletek: irreducibilis ábrázolások és a spektrum	103
8.	A harmonikus oszcillátor: részletek	105
8.1.	Az algebrai módszer: keltő és eltüntető operátorok és mátrixelemeik	105
8.2.	Koherens állapotok (kvantum-hinta)	108
8.3.	Rövid kitekintés: molekula-rezgések, kristályrezgések, csapdába ejtett ion rezgései	110
8.4.	A foton	112

9.	Impulzusmomentum a kvantummechanikában	119
9.1.	A pálya-impulzusmomentum operátora; az impulzusmomentum felcserélési relációi	119
9.2.	Schrödinger-egyenlet hengerszimmetrikus potenciállal: a Bohr-féle kvantumfeltétel	121
9.3.	Schrödinger-egyenlet centrális erőterben: az energiasajátfüggvények szögfüggése	123
9.4.	Szimmetria és szimmetriasértés: paritás; mágneses kvantumszám <i>kontra</i> propellerek és dáliák	126
9.5.	Az impulzusmomentum spektruma és mátrixelemei	128
10.	A hidrogénatom	133
10.1.	A radiális Schrödinger-egyenlet megoldása Coulomb-potenciálra	133
11.	Mozgás mágneses térben	139
11.1.	Töltött részecske Lagrange-függvénye és Hamilton-operátora mágneses mező jelenlétében	139
11.2.	Szabad mozgás: a ciklotron-pályák kvantálása, Landau-szintek	144
11.3.	A mértékinvariancia és a vektorpotenciál realitása: Aharonov–Bohm-effektus, fluxuskvantálás	146
12.	Spin	151
12.1.	A feles spin kvantumelmélete: kétkomponensű spinorok és Pauli-mátrixok	151
12.2.	Spinorforgatás, kvázispin, qubit	154
12.3.	Feles spin állandó mágneses térben: Larmor- precesszió és Rabi-oszcilláció	156
12.4.	Repülő feles spin	158
12.5.	A feles spin állapotainak mérése (rekonstrukciója)	160
12.6.	Mágneses rezonancia	161
13.	Perturbációszámítás	165
13.1.	Időtől független perturbációszámítás: elfajult és el nem fajult eset	166
13.1.1.	Perturbációszámítás nem elfajult esetben	167
13.1.2.	Perturbációszámítás elfajult esetben	169
13.2.	Időtől függő perturbációk; kölcsönhatási kép; a Fermi-féle arany szabály	170
13.2.1.	Dirac módszere	171
13.2.2.	Átmenetek a folytonos spektrumban; a Fermi-féle arany szabály	173

13.3. Abszorpció, indukált és spontán emisszió	177
13.3.1. Félklasszikus sugárzáselmélet	179
13.3.2. Spontán emisszió	181
13.3.3. A Planck-törvény Einstein-féle levezetése	186
13.3.4. Dipólátmenetek kiválasztási szabályai	187
14. Szórási folyamatok	191
14.1. Szórás kísérletek: ütközések, reakciók, rugalmatlan és rugalmas szórás, potenciálszórás	191
14.2. Stacionárius potenciálszórás, szórási amplitúdó és hatáskeresztmetszet	192
14.3. Gyors részecske szóródása: Born-közelítés	193
14.4. Összetett tárgy szórási képe	196
14.5. Gömbszimmetrikus potenciál: kifejtés parciális hullámok szerint	197
14.6. Alacsonyenergiás határeset: s-szórás, szórási hossz	200
15. Több részecske rendszerek kvantummechanikája	203
15.1. A kölcsönható részecskék összefonódása	203
15.2. Tömegközépponti és belső mozgás; elemi és összetett „részecskék”	205
15.3. Azonos részecskék megkülönböztethetlensége	207
15.4. Kölcsönhatás nélküli azonos részecskék, egy részecske-állapotok betöltése, átlagtérközelítés	209
15.5. Atomok és a periódusos rendszer	212
15.6. Viriáltétel	214
15.7. Adiabaticus közelítés, Hellmann–Feynman tétel	216
15.8. A kémiai kötés	219
15.9. Impulzusmomentumok összeadása	221
15.10. Einstein–Podolsky–Rosen paradoxon, Bell-egyenlőtlenség	224
15.11. Környezeti kölcsönhatások, dekoherencia és komplementaritás	230
15.12. Dekoherencia és a sűrűségmátrix	232
16. A szemiklasszikus határeset	235
16.1. Hullámfüggvények WKB közelítésben	236
16.2. Egydimenziós mozgások WKB közelítésben	238
17. Kvantummérés: téma változatokkal	245
17.1. Kvantum-Zénón-effektus	247
17.2. Kölcsönhatás-mentes mérés	249
17.3. Quantum Non-Demolition	250

17.4. Kvantum-ugrások	251
17.5. Gyenge mérés utószekcióval	252
Függelékek	257
A – Feynman-féle pályaintegrál	257
B – Ion- és atomcsapdák, lézerhűtés	261
C – Műveletek koherens állapotokkal	265
D – A kölcsönhatási kép	269
E – Dekohherencia: a master-egyenlet	271
E.1. Kétállapotú rendszer oszcillátor-fürdőben: a spin-bozon modell	273
E.2. Oszcillátor oszcillátorok fürdőjében	278
E.3. Nagy molekula atomos gázban	280
F – A kvantuminformáció elemei	285
F.1. A qubitek hordozói	286
F.2. Az alapvető stratégiák	288
F.3. Kvantum-titkosítás	289
F.4. Klónozás és teleportáció	291
G – A Dirac-egyenlet	293
Irodalom	297
Tárgymutató	299