

目 次

第 1 章 物理量の量子化	1	問題 3.1 単色の X 線による回折像	37	例 3.7 顕微鏡による位置の測定	55
1.1 光量子	1	問題 3.2 電子, 中性子の散乱	39	例 3.8 回折格子による運動量の測定	56
1.2 光電効果	1	問題 3.3 運動エネルギーの期待値	48	例 3.9 補遺: 回折格子の分解能	57
1.3 コンプトン効果	3	例 3.4 平面波の重ね合わせ, 運動量 空間での確率分布	49	問題 3.10 ガウス形波束の性質	60
1.4 リッツの結合則	4	例 3.5 スリットによる位置の測定	54	問題 3.11 波動関数の規格化	61
1.5 フランク-ヘルツの実験	5	例 3.6 粒子を箱に閉じ込めること による位置の測定	55	問題 3.12 量子の国のメロン	62
1.6 シュテルン-ゲルラッハの実験	6				
第 2 章 輻射の法則	11	第 4 章 量子力学の数学的基礎 I	67		
2.1 物体の輻射に関する予備知識	11	4.1 演算子の性質	67		
2.2 空洞輻射とは何か	12	4.2 2つの演算子の和, 積, 交換関係	68		
2.3 レイリー-ジーンズの輻射法則 — 空洞内電磁波の固有モード	16	4.3 ブラとケット	69		
2.4 プランクの輻射法則	18	4.4 固有値と固有関数, その正規直交性	70		
問題 2.1 空洞輻射について	14	4.5 2つの観測量の同時測定, 2つの演算子の同時固有関数	77		
例 2.2 プランクの輻射法則のプランク による導出	21	4.6 位置演算子と運動量演算子	79		
問題 2.3 黒体輻射	24	4.7 任意の演算子に対するハイゼンベルクの不確定性関係	80		
		4.8 角運動量演算子と球面調和関数	82		
		4.9 運動エネルギー演算子	87		
		4.10 全エネルギー, ハミルトニアン演算子	87		
		例 4.1 運動量演算子のエルミート性	75	問題 4.7 演算子の展開と並進演算子	89
		例 4.2 位置演算子と運動量演算子との 交換子	75	例 4.8 ルジャンドル多項式とルジャン ドル陪多項式	90
		問題 4.3 交換子の演算規則	76	例 4.9 数学的補足 極座標でのラプラ ス方程式と球面調和関数	98
		例 4.4 運動量演算子の固有関数	77	例 4.10 球面調和関数の加法定理	102
		問題 4.5 不等式の証明	88		
		問題 4.6 2種類の不確定性関係	88		
第 3 章 物質の波動性	31	第 5 章 連続スペクトルとデルタ関数	107		
3.1 ド・ブロイ波	31	5.1 固有微分と連続スペクトルを持つ固有関数の正規化	107		
3.2 物質波の回折	35	5.2 固有関数による展開と完全性	110		
3.3 物質波の統計的解釈	40	例 5.1 運動量演算子の固有関数の 正規化	112	例 5.3 積分公式とコーシーの主値	115
3.4 量子力学における物理量の平均値 (期待値)	45	例 5.2 デルタ関数の関数列による 表現	113	問題 5.4 釣鐘型関数列の極限としての デルタ関数	116
3.5 量子力学に現れる 3つの演算子	47				
3.6 量子力学における重ね合わせの原理	49	第 6 章 シュレーディンガー方程式	119		
3.7 ハイゼンベルクの不確定性原理	51	6.1 量子力学における粒子数の保存則, 流束密度の定義	150		
		6.2 定常状態とシュレーディンガー方程式の一般解	152		
		6.3 定常状態の性質	153		

問題6.1	無限に深い3次元箱型ポテンシャルの中の粒子と殻模型	122	問題6.5	理想フェルミ気体とフェルミ・エネルギー, ゼロ点圧力	141
問題6.2	1次元井戸型ポテンシャル中の粒子と波動関数の対称性	126	問題6.6	理想ボルツマン気体の全エネルギー	144
問題6.3	デルタ関数型ポテンシャルによる粒子の散乱	131	例 6.7	2つの中心力ポテンシャルの中の粒子と共有結合	145
問題6.4	量子統計による多粒子の状態分布	133	問題6.8	球面波の流束密度	155
問題6.9	周期的ポテンシャルとブロッホの定理, バンド構造	157			
第7章 調和振動子 167					
7.1	調和振動子型方程式の解	172			
7.2	生成・消滅演算子による調和振動子の記述	182			
7.3	演算子 \hat{a} と \hat{a}^\dagger の性質	182			
7.4	調和振動子型ハミルトニアン \hat{a} と \hat{a}^\dagger による表現	183			
7.5	\hat{a} と \hat{a}^\dagger の解釈	184			
例 7.1	数学的補遺 超幾何関数	168	問題7.3	3次元調和振動子	185
例 7.2	数学的補遺 エルミート多項式	173			
第8章 古典力学から量子力学へ 193					
8.1	平均値の運動	193			
8.2	エーレンフェスト(Ehrenfest)の定理	194			
8.3	運動の保存量, 保存の法則	195			
8.4	曲線座標での量子化	197			
問題8.1	交換関係	196	問題8.4	古典力学におけるラグランジュ括弧とポアソン括弧の復習	203
例 8.2	ビリアル定理	197			
例 8.3	極座標における運動エネルギー演算子	202			
第9章 磁場中の荷電粒子 211					
9.1	電磁場との相互作用	211			
9.2	水素原子	220			
9.3	3次元電子密度	226			
9.4	水素原子のエネルギースペクトル	228			
9.5	水素原子中の流れ	231			
9.6	磁気モーメント	233			
9.7	水素類似原子	234			

例 9.1	電磁場中のハミルトン方程式(古典力学)	214	例 9.4	水素原子の波動関数の角度依存性を持った部分	235
問題9.2	荷電粒子のラグランジアンとハミルトニアン	217	例 9.5	2原子分子のスペクトル	239
問題9.3	ランダウ状態	219	例 9.6	ヤコビ座標	243
第10章 量子力学の数学的基礎 II 249					
10.1	表現論	249			
10.2	演算子の表現	253			
10.3	固有値問題	260			
10.4	ユニタリー変換	262			
10.5	S行列	264			
10.6	行列形式のシュレーディンガー方程式	266			
10.7	シュレーディンガー表示	268			
10.8	ハイゼンベルク表示	268			
10.9	相互作用表示	270			
例 10.1	水素原子の基底状態の運動量分布	251	例 10.2	演算子 \mathbf{r} の運動量表示	257
例 10.3	運動量表示での調和振動子	258			
第11章 摂動論 271					
11.1	定常的な摂動	271			
11.2	縮退	275			
11.3	リッツの変分法	286			
11.4	時間に依存する摂動	289			
11.5	時間的に変動しない場合	294			
11.6	連続状態間の遷移	295			
例 11.1	シュタルク効果	277	例 11.6	リッツの変分法の応用例: 調和振動子	288
問題11.2	摂動論の結果と厳密解の比較	280	例 11.7	単位時間当りの遷移確率とフェルミの黄金律	302
問題11.3	2準位の交差の問題	280	例 11.8	原子核による電子の弾性散乱	304
問題11.4	調和振動子に対する調和的な摂動	284	問題11.9	運動量移行の小さい場合	311
問題11.5	調和振動子に対する線形な摂動	285	問題11.10	関数 $f(t, \omega)$ の性質	311
			問題11.11	誘電率について	312
第12章 スピン 317					
12.1	二重項分裂	318			
12.2	アインシュタイン-ド・ハースの実験	320			

12.3 スピンの数学的記述	321
12.4 スピンを含む波動関数	324
12.5 パウリ方程式	326
問題 12.1 一様な磁場におけるスピンの歳差運動	329
例 12.2 ラビの実験—スピン共鳴	330
例 12.3 ゼーマン効果(磁場の弱い場合)	332
第13章 非相対論的波動関数とスピン	339
13.1 シュレーディンガー方程式の線形化	339
13.2 外場中の粒子と磁気モーメント	346
問題 13.1 パウリ行列の完全性	343
問題 13.2 パウリ行列の演算の規則	344
問題 13.3 シュレーディンガー方程式を満たすスピノル	345
第14章 量子力学における多体系の扱い方	349
14.1 多粒子系における全運動量の保存	352
14.2 量子力学における多粒子系の重心運動	354
14.3 量子力学的多粒子系における全角運動量の保存	359
14.4 多粒子系における微小振動	370
例 14.1 異常ゼーマン効果	366
問題 14.2 1個の電子を持つ原子の重心運動	367
問題 14.3 外場中の2個の粒子	376
第15章 同じ種類の粒子が複数ある系の記述方法	381
15.1 パウリ原理	383
15.2 交換縮退	384
15.3 スレーター行列式	385
例 15.1 ヘリウム原子	385
例 15.2 水素分子	389
例 15.3 ファン・デル・ワールス相互作用	393
第16章 量子力学の理論形式	399
16.1 量子力学の数学的基礎—ヒルベルト空間	399
16.2 ヒルベルト空間の演算子	402
16.3 固有値と固有ベクトル	403
16.4 連続スペクトルを持つ演算子	407
16.5 演算子の関数	408
16.6 ユニタリー変換	410
16.7 直積空間	411

16.8 量子力学の公理	413
16.9 自由粒子	416
16.10 摂動論のまとめ	426
問題 16.1 演算子のトレース	406
問題 16.2 トレースと行列要素の2乗和	406
問題 16.3 演算子の関数	408
問題 16.4 べき級数による定義と固有値による定義	409
問題 16.5 運動量空間での座標演算子	417
問題 16.6 プロバゲータの積分の計算	421
例 16.7 いろいろな表示による1次元調和振動子	422

第17章 量子力学的世界像の实在論的問題	429
17.1 決定論	429
17.2 局所性	430
17.3 隠れた変数理論	432
17.4 ベルの定理	436
17.5 観測の理論	439
17.6 シュレーディンガーの猫	442
17.7 主観に帰着させる考え方	442
17.8 古典的な測定を量子力学と無関係なものとする考え方	443
17.9 コペンハーゲン解釈	444
17.10 観測の不可逆性に基づく考え方	444
17.11 分裂宇宙モデル	447
17.12 实在の問題	447

索引	449
--------------	-----