



# 目 次

第2版への序

初版への序

## 第I部 歴史的序論

第1章 古典物理学から量子力学へ . . . . .	3
§1.1 古典力学的段階における原子論 . . . . .	3
§1.2 電気の素量性と電子の発見 . . . . .	5
§1.3 作用量子の発見 . . . . .	7
§1.4 光の粒子説の復活 . . . . .	13
§1.5 周期運動に対する量子条件 . . . . .	16
§1.6 原子の構造と量子論 . . . . .	23
§1.7 量子力学の発端 . . . . .	29
§1.8 電子の波動性の発見 . . . . .	36
§1.9 量子力学の成立とその後の発展 . . . . .	40

## 第II部 量子力学の構成

はじめに . . . . .	45
----------------	----

## 第2章 波動力学の導入 . . . . . 47

§2.1 粒子と波動の二重性——量子力学建設の基礎におくべき実験事実 は何か . . . . .	47
§2.2 波動力学における運動法則 . . . . . 57	
a) 第1法則——自由粒子(57) b) 重ね合せの原理(58) c) 第2法則—— 動力学的法則(61) d) 第3法則——波動関数の確率解釈(64) e) 位置座標の測定(70) f) 波動関数、 確率振幅、状態関数(73)	
§2.3 定常状態と境界条件 . . . . . 76	
a) 定常状態とエネルギー固有状態(76) b) 平面波と自由粒	



	子波束(82) c) 1次元問題と境界条件——束縛状態と散乱状態(88)	
§ 2.4	簡単な定常状態 . . . . .	99
	a) 階段ポテンシャル(99) b) 箱型ポテンシャル(102) c) $\delta$ 関数ポテンシャルと剛体壁(111) d) 共鳴散乱と準安定状態(114) e) 調和振動子 I (121)	
第3章	量子力学の形成 . . . . .	127
§ 3.1	運動量表示 . . . . .	127
	a) 確率解釈規定と力学量規定(128) b) 運動量表示における力学量演算子(132) c) 量子条件と交換関係(137)	
§ 3.2	力学量とその観測 . . . . .	140
	a) 力学量演算子の線形性(140) b) 力学量演算子の Hermiticity と固有関数列の完全性(143) c) 力学量の測定と期待値(146) d) 不確定性関係(149)	
§ 3.3	量子力学における基本設定 . . . . .	153
	a) 基本設定 I ——状態(154) b) 基本設定 II ——力学量(155) c) 基本設定 III ——時間的发展(157)	
§ 3.4	Heisenberg 描像と行列力学 . . . . .	159
	a) エネルギー固有関数による展開(159) b) Heisenberg の運動方程式(161) c) 行列表現の量子力学——行列力学(164)	
§ 3.5	調和振動子 II . . . . .	171
	a) エネルギー固有値問題(171) b) 波束の運動(176)	
§ 3.6	多粒子系 . . . . .	181
§ 3.7	古典論への回帰 . . . . .	185
第4章	量子力学の基礎体系 . . . . .	193
§ 4.1	ケットの空間, ブラ空間 . . . . .	193
§ 4.2	線形演算子 . . . . .	196
§ 4.3	固有値問題 . . . . .	198
	a) 自己共役演算子の固有値問題(198) b) 測定値の集団平均, 確率解釈(201)	
§ 4.4	正準変数 . . . . .	202



	a) 自由度 1 の力学系 (202)	b) 多自由度の系 (209)
	c) Dirac 空間 (210)	
§ 4.5	運動方程式 . . . . . 210	
	a) Heisenberg 描像 (210)	b) 保存則, ビリアル定理, 総和則 (213)
	c) Schrödinger 描像 (215)	d) 相互作用描像 (216)
§ 4.6	物理的解釈 . . . . . 217	
	a) 純粋状態 (219)	b) 混合状態 (220)

### 第 III 部 量子力学の展開

第 5 章	典型的な状態の構造 . . . . . 225	
§ 5.1	対称性と保存量 . . . . . 225	
	a) 連続群の場合——並進と回転 (226)	b) 離散的な変換群——空間反転 (229)
§ 5.2	角運動量 . . . . . 231	
	a) $J^2$ と $J_z$ の同時対角化 (231)	b) 軌道角運動量, 球関数 (237)
	c) スピン (246)	d) 角運動量の合成 (250)
§ 5.3	時間反転 . . . . . 259	
	a) 簡単な場合 (259)	b) スピンのある場合 (261)
§ 5.4	中心力の場における運動 . . . . . 263	
	a) 原点における境界条件 (266)	b) 遠方での振舞い (266)
	c) 束縛状態 (268)	d) 井戸型ポテンシャル (274)
	e) 散乱断面積 (281)	
§ 5.5	Coulomb 場の場合 . . . . . 286	
	a) 束縛状態 (289)	b) 散乱状態 (293)
	c) 遠方での波の歪み (297)	
§ 5.6	磁場における運動 . . . . . 301	
	a) 一様な磁場と軸対称な電場 (301)	b) 磁場のみの場合. Landau 準位の縮退 (305)
	c) 軌道中心の局所化 (306)	d) ゲージ変換 (309)
§ 5.7	多粒子系 . . . . . 310	
	a) 配位空間, 重心運動の分離 (310)	b) 重心運動の分離 (312)
	c) 変分法 (314)	d) 位置の相関 (320)
	e) 水素分子	



	(323)	
第6章	近 似 法	327
§ 6.1	定常状態を定める摂動論	327
	a) 縮退のない状態に対する摂動(328) b) 摂動展開の収束, 漸近級数(331) c) 縮退した状態に対する摂動(341)	
§ 6.2	時間発展を定める摂動論	348
	a) くりこみ法(349) b) 遷移確率(353)	
§ 6.3	断熱近似	357
	a) 断熱定理(357) b) Born-Oppenheimer 近似(361)	
第7章	量子力学と相対論	367
§ 7.1	Lorentz 変換	367
	a) ベクトル, テンソル(367) b) 場の量の変換, Klein-Gordon の方程式(371)	
§ 7.2	スピノル	372
	a) 固有 Lorentz 群の表現(372) b) van der Waerden の スピノル(376) c) Weyl の方程式(377)	
§ 7.3	空間反転, 時間反転	378
§ 7.4	Dirac 方程式	380
	a) Dirac スピノル(380) b) 物理的解釈(382) c) 自由粒 子の解, 平面波(384)	
§ 7.5	中心力場における Dirac 粒子	388
	a) 部分波分解(389) b) 動径方程式(391) c) 水素原子(393) d) Coulomb 散乱(399) e) 散乱断面積, スピン偏極(402)	
§ 7.6	Hamilton 形式	409
	a) Zitterbewegung(409) b) 電磁場との相互作用(415) c) 谷-Foldy-Wouthysen 変換(417)	
§ 7.7	空孔理論	420
	a) 負エネルギー状態の問題(420) b) 空孔仮説(425)	
第8章	力学系の対称性	431
§ 8.1	群の定義とその構造	433
§ 8.2	Lie 群と Lie 代数	436



§ 8.3	連続群の射線表現	440
§ 8.4	運動量と角運動量	445
§ 8.5	軌道角運動量とスピン	462
§ 8.6	角運動量の合成と分解	471
§ 8.7	Galilei 変換	478
§ 8.8	ゲージ変換	482
§ 8.9	力学系に内在する対称性	484
§ 8.10	置換に関する対称性	492
第 IV 部 多粒子系と場		
第 9 章	多粒子系の量子力学	505
§ 9.1	同種粒子系の状態空間	505
	a) 同種粒子系の波動関数(505) b) Pauli 原理, 統計(508)	
	c) 占有数表示(510)	
§ 9.2	第 2 量子化	512
	a) 多粒子系における物理量の行列要素(512) b) 生成・消滅演算子(515) c) Fock 空間(522)	
§ 9.3	多粒子系の運動と状態 I —— 基底状態	525
	a) 密度行列(526) b) Hartree 方程式(531) c) Fermi 粒子系の基底状態(537) d) Thomas-Fermi の方法または局所 Fermi 運動量の方法(540) e) Bose 粒子系の基底状態(542)	
§ 9.4	多粒子系の運動と状態 II —— 集団運動	547
	a) 規準振動——調和振動子の例(547) b) 規準振動——Fermi 粒子系の例(552)	
第 10 章	場の量子論	559
§ 10.1	de Broglie 波, 量子化された波動場, および古典場について	559
	a) 一般化された確率振幅と de Broglie 波(560) b) 運動の時空間記述と第 2 量子化された場の役割(561) c) 一般化された Schrödinger 関数と第 2 量子化された場(565) d) コヒーレント状態と古典的波動(568) e) 多粒子系の量子力学と場の正準量子化(575)	



§ 10.2	Lagrange 形式による場の方程式と Noether の定理 . . . . .	582
	a) Lagrange 形式による場の方程式 (582) b) Noether の 定理——種々の不変性と保存量 (585)	
§ 10.3	場の正準量子化 . . . . .	593
	a) 正準変数と量子化 (593) b) 正準運動方程式と古典論と の対応 (596) c) 量子化された場の無限小変換と生成子 (597)	
§ 10.4	自由場の量子論 . . . . .	599
	a) スカラー場の理論 (600) b) 複素スカラー場 (609) c) Dirac 場 (610)	
§ 10.5	反転不変性およびスピンと統計の関係 . . . . .	614
	a) 空間反転, 粒子-反粒子変換 (614) b) 時間反転 (615) c) <i>CPT</i> 変換 (616) d) パラ統計について (617)	
§ 10.6	多時間理論から超多時間理論へ . . . . .	619
	a) 相対論的電子多体系の多時間理論 (620) b) 輻射場の量 子化と付加条件 (622) c) 場の超多時間理論 (625)	
§ 10.7	不定計量をもつ場の量子論 . . . . .	626
	a) 発散の困難と不定計量をもつ混合場の理論 (626) b) 不 定計量の導入 (630) c) 多重質量波動方程式 (631)	
第 11 章 拘束のある系に対する正準理論 . . . . .		635
§ 11.1	Dirac の一般正準理論 . . . . .	635
	a) 特異ラグランジアンと拘束 (635) b) Dirac 括弧と量子 論への移行 (641)	
§ 11.2	光的超平面上での場の正準理論 . . . . .	643
	a) 正準量子化面とその安定群 (643) b) 中性スカラー場 に対する光的正準形式 (648) c) 生成・消滅演算子と Fock 空間 (656)	
文献・参考書 . . . . .		661
索引 . . . . .		675

