



---

第1章●●対称性と保存則	1
<hr/>	
1-1●●原子核の構成	2
図表による例題(1-1節)	3
<hr/>	
1-2●●時空不変性に関する原子核の対称性	7
1-2a 連続変換	7
1-2b 空間反転	11
1-2c 時間反転	14
図表による例題(1-2節)	18
<hr/>	
1-3●●荷電不変性	27
1-3a アイソスピン対称性	27
1-3b 荷電対称性の拡張	32
図表による例題(1-3節)	35
<hr/>	
1-4●●核力に対する不変条件	56
1-4a 速度に依存しない力	56
1-4b 速度に依存する力	57

付1A●●回転不変性	59
1A—1 角運動量行列	59
1A—2 角運動量の結合	59
1A—3 組み替え係数	61
1A—4 回転行列, $\mathcal{D}$ 関数	63
1A—5 球テンソルと既約行列要素	66
1A—6 固有座標系への変換	72
1A—7 場の変換	74
1A—8 場の結合および多重極モーメントによる展開	75
1A—9 アイソスピン空間のテンソル	78
<hr/>	
付1B●●時間反転	79
1B—1 単一粒子状態	79
1B—2 多粒子状態(束縛系)	80
1B—3 衝突過程	82
1B—4 崩壊過程	83
付1C●●置換対称性	85
1C—1 対称性量子数(分配)	86
1C—2 占有数空間での波動関数の対称性の分類	94
1C—3 ユニタリー対称性	97
図表による例題(付1C節)	102

<b>第2章●●独立粒子模型</b> .....	111
<hr/>	
<b>2—1●●原子核の大まかな性質</b> .....	112
2—1a 原子核の大きさ.....	112
2—1b 核子の平均自由行程.....	113
2—1c 運動量分布 (Fermi 気体近似).....	113
2—1d 原子核の結合エネルギー.....	114
2—1e 対(β)エネルギー.....	116
2—1f アイソスピン量子数.....	117
2—1g 核ポテンシャル.....	119
2—1h 反対称化された Fermi 気体の波動関数.....	121
2—1i 励起スペクトルの統計的性質.....	124
図表による例題(2—1節).....	128
<hr/>	
<b>2—2●●原子核殻構造の実験的証拠</b> .....	153
2—2a 結合エネルギー.....	153
2—2b 偶-偶核の励起エネルギー.....	154
2—2c 準位密度.....	154
図表による例題(2—2節).....	154
<hr/>	
<b>2—3●●核種とその存在度</b> .....	162
2—3a 原子核の安定性.....	162
2—3b 存在比と原子核の起源.....	163
図表による例題(2—3節).....	166
<hr/>	
<b>2—4●●核の平均ポテンシャル</b> .....	171
2—4a 1 粒子準位の順序, スピン軌道結合.....	171
2—4b 1 粒子強度関数.....	172
2—4c 光学ポテンシャル.....	174
図表による例題(2—4節).....	179
<hr/>	
<b>2—5●●核子間相互作用と核ポテンシャル</b> .....	198
2—5a 核子間相互作用の主な特徴.....	198
2—5b 核ポテンシャルと核子間相互作用の関係.....	207
2—5c 核物質の理論.....	215
図表による例題(2—5節).....	216

付2A●●	反対称化された積状態、生成消滅演算子	225
2A—1	反対称波動関数	225
2A—2	Fermi粒子に対する生成演算子の性質	225
2A—3	1粒子演算子	227
2A—4	2粒子演算子	228
2A—5	粒子移行演算子	229
2A—6	$x$ 表示	229
2A—7	密度行列	229
2A—8	Bose粒子に対する生成演算子	230
<hr/>		
付2B●●	準位密度の統計的計算	232
2B—1	準位密度関数とそのLaplace変換	232
2B—2	Laplace変換の逆変換	233
2B—3	1粒子状態の平均占有数	235
2B—4	準粒子励起によるスペクトルの記述	235
2B—5	準位密度計算の熱力学的解釈	237
2B—6	他の量子数も指定されている状態密度の計算	238
<hr/>		
付2C●●	無作為行列によるゆらぎ	242
2C—1	2次元行列の要素の無作為分布	242
2C—2	固有値および固有ベクトルの分布	243
2C—3	大次元の行列	245
<hr/>		
付2D●●	強度関数現象についての模型	248
2D—1	表示の選択	248
2D—2	対角比	248
2D—3	定数行列要素に対する強度関数	249
2D—4	結合過程の時間に依存する記述	249
2D—5	強度関数の2次モーメント	250
2D—6	中間結合段階	250
2D—7	行列要素が一定でない場合の強度関数の計算	251

<b>第3章●●単一粒子配位</b> .....	253
<hr/>	
<b>3—1●●量子数と波動関数. 粒子-空孔対称性</b> .....	255
3—1a 1粒子状態.....	255
3—1b 空孔状態. 粒子-空孔共役.....	256
3—1c 粒子および空孔状態のアイソスピン.....	257
図表による例題(3—1節).....	258
<hr/>	
<b>3—2●●エネルギースペクトル</b> .....	261
図表による例題(3—2節).....	262
<hr/>	
<b>3—3●●電磁的モーメントの行列要素</b> .....	275
3—3a 4重極モーメントと $E2$ 遷移確率.....	275
3—3b 磁気モーメント.....	278
3—3c 他の電磁的モーメント.....	281
図表による例題(3—3節).....	282
<hr/>	
<b>3—4●●<math>\beta</math>崩壊行列要素</b> .....	286
3—4a 許容遷移.....	286
3—4b 禁止遷移.....	289
図表による例題(3—4節).....	289
<hr/>	
<b>3—5●●反応過程. 親組係数</b> .....	294
3—5a 1粒子移行反応.....	294
3—5b 共鳴反応.....	295
図表による例題(3—5節).....	295

付3A●● 1粒子波動関数と行列要素	299
3A—1 スピンと軌道の結合	299
3A—2 1粒子演算子に対する行列要素の計算法	301
<hr/>	
付3B●● 粒子-空孔共役	305
3B—1 Fermi粒子系の粒子と空孔による記述	305
3B—2 1粒子演算子の行列要素	307
3B—3 2粒子演算子の行列要素	310
<hr/>	
付3C●● 電磁相互作用の行列要素	315
3C—1 場と電磁流との結合	315
3C—2 放射過程	315
3C—3 荷電粒子との相互作用	318
3C—4 自由核子の電荷および電流密度	319
3C—5 1粒子行列要素	321
3C—6 電流における相互作用効果	323
<hr/>	
付3D●● ベータ相互作用	328
3D—1 弱い相互作用過程と弱い流れ	328
3D—2 $\beta$ 流の対称性	330
3D—3 $\beta$ 流の非相対論的表式	334
3D—4 多重極モーメント	336
3D—5 $ft$ 値	340
図表による例題(付3D節)	343
<hr/>	
付3E●● 核子移行反応	348
3E—1 1核子移行反応	348
3E—2 2核子移行反応	352
<hr/>	
付3F●● 共鳴反応	354
3F—1 共鳴散乱の一般的性質	354
3F—2 単一粒子運動に対する共鳴パラメータ	361
<hr/>	
文献	371
索引	387

目次—●—図表による例題(第1章～第3章)

1—1 ●● 原子核の構成

核子の性質(表1—1)..... 3

1—2 ●● 時空不変性に関する原子核の対称性

$\alpha$ 崩壊における偶奇性保存の検査(図1—1)..... 18

原子核状態における偶奇性の混合について,  $\gamma$ 線放射の円偏光の解析を用いた吟味(図1—2)..... 19

$\beta$ 崩壊における偶奇性の破れ, 時間反転不変性の検査(図1—3)..... 21

逆反応に対する断面積の比較(図1—4)..... 23

弾性散乱における偏極と非対称性との関係(図1—5および1—6)..... 24

1—3 ●● 荷電不変性

$A=14$ における荷電3重項および1重項(図1—7および1—8)..... 35

陽子が引き起す共鳴反応で観測される荷電類似状態(図1—9および表1—2) 39

$0 \rightarrow 0$  +型  $\beta$ 崩壊における荷電対称性の検査(図1—10および表1—3)..... 43

ハイパー核の結合エネルギーおよびスピン(表1—4)..... 46

重粒子スペクトルにおける多重項(図1—11および表1—5)..... 48

中間子スペクトルにおける多重項(図1—12)..... 53

同じ同重対称性を持つ重粒子状態の1族(図1—13)..... 55

付1C ●● 置換対称性

決まった対称性を持つ4粒子波動関数(表1C—1).....102

$S_3$ の表現の内積に対する掛け算の表(表1C—2)..... 103

配位  $p^3$ の状態に対する量子数および波動関数(表1C—3)..... 104

配位  $p^n$ の状態の分類(表1C—4)..... 106

スピン-アイソスピン関数の分類(表1C—5)..... 107



## 2-1 ●● 原子核の大まかな性質

電子散乱による原子核の電荷分布の決定(図2-1).....	128
原子スペクトルに見られる同位体によるずれから得られる電荷分布に関する実験的情報(図2-2).....	130
中性子全断面積による平均自由行路の評価(図2-3).....	133
$A$ の関数としての1核子当りの結合エネルギー(図2-4).....	135
対(?)エネルギー(図2-5).....	135
Coulombポテンシャルによるアイソスピン混合(図2-6).....	138
Fermi気体に対する2体相関関数(図2-7).....	143
低エネルギー中性子共鳴の平均準位間隔と平均幅(図2-8).....	143
中性子共鳴に見られる準位間隔の分布(図2-9).....	145
中性子幅の分布(図2-10).....	146
中性子蒸発スペクトルから求めた核準位密度関数(図2-11).....	147
核準位密度の系統性(図2-12).....	150

## 2-2 ●● 原子核殻構造の実験的証拠

中性原子のイオン化ポテンシャル(図2-13).....	154
中性子および陽子の分離エネルギー(図2-14, 2-15, 2-16).....	155
2+状態の励起エネルギーの系統性(図2-17).....	159

## 2-3 ●● 核種とその存在度

$\beta$ 安定核種(図2-18).....	166
$A > 750$ の偶-偶核の存在度(図2-19).....	168
$105 < A < 145$ 領域の存在度と捕獲過程径路の詳細図(図2-20).....	169

## 2-4 ●● 核の平均ポテンシャル

調和振動子ポテンシャルのいくつかの性質(図2-21).....	179
核ポテンシャルの動径依存性(図2-22).....	181
原子核の1粒子準位の順序の模式図(2-23).....	181
奇 $A$ 核のスペクトルと1粒子模型による予測との比較(図2-24).....	181
( $dp$ )反応の研究から得られる強度関数(図2-25).....	185
$s$ 波強度関数(図2-26).....	187
( $p, 2p$ )反応による空孔状態(図2-27).....	189
30MeV陽子散乱の光学模型解析(図28, 表2-1 および2-2).....	191
光学模型ポテンシャルの系統性(図2-29).....	193
静的核ポテンシャル内の1粒子軌道の結合エネルギー(図2-30).....	195

**2-5 ●● 核子間相互作用と核ポテンシャル**

核子-核子散乱の位相差解析(図2-34).....	216
現象論的な核子-核子ポテンシャル(図2-35;表2-3, 2-4).....	218
原子と原子核の結合力の比較(図2-36).....	221
衝撃近似による核ポテンシャルの計算(図2-37).....	221

<b>3-1 ●●</b>	<b>量子数と波動関数. 粒子・空孔対称性</b>	
	1 粒子および1 空孔配位の全アイソスピン(図3-1).....	258
<b>3-2 ●●</b>	<b>エネルギースペクトル</b>	
	1 粒子または, 1 空孔配位を持つ原子核のスペクトル(図3-2a ~ 図3-2f) ...	262
	$^4\text{He}$ に隣り合う核のスペクトル(図3-2a) .....	263
	$^{16}\text{O}$ に隣り合う核のスペクトル(図3-2b) .....	263
	$^{40}\text{Ca}$ に隣り合う核のスペクトル(図3-2c) .....	265
	$^{48}\text{Ca}$ に隣り合う核のスペクトル(図3-2d) .....	265
	$^{56}\text{Ni}$ に隣り合う核のスペクトル(図3-2e) .....	266
	$^{208}\text{Pb}$ に隣り合う核のスペクトル(図3-2f) .....	267
	$^{208}\text{Pb}$ の単一粒子状態のエネルギーと波動関数(図3-3 および図3-4) .....	267
	$^{16}\text{O}$ , $^{40}\text{Ca}$ , $^{48}\text{Ca}$ , $^{56}\text{Ni}$ における中性子状態の束縛エネルギー(図3-5).....	268
	核子束縛状態のアイソスピン依存性(表3-1) .....	273
<b>3-3 ●●</b>	<b>電磁的モーメントの行列要素</b>	
	1 粒子配位の電氣的4 重極効果(表3-2).....	282
	単一粒子配位における磁気双極子効果(表3-3) .....	284
	1 粒子配位におけるM4 遷移確率(表3-4) .....	285
<b>3-4 ●●</b>	<b><math>\beta</math>崩壊行列要素</b>	
	1 粒子配位における許容 $\beta$ 遷移(表3-5).....	289
	1 粒子配位における禁止 $\beta$ 崩壊(図3-6 および表3-6).....	290
<b>3-5 ●●</b>	<b>反応過程. 親組係数</b>	
	$^{40}\text{Ca}(d, p)^{41}\text{Ca}$ 反応から得られる親組係数(表3-7) .....	295
	$^{16}\text{O}$ による陽子共鳴散乱の換算幅(表3-8).....	297
<b>付3D ●●</b>	<b><math>\beta</math>相互作用</b>	
	$\beta$ 崩壊モーメント(弱い磁気)と電磁的遷移モーメントの関係の検証	
	(図3D-1).....	343