



# 目 次

## 1. 原子核の特性

1・1 電 荷	1
1・2 質 量	1
1・3 大 き さ	3
1・4 核スピン	3
1・5 結合エネルギー	5
1・6 構造モデル	6
1・7 核 反 応	6
1・8 エネルギー準位	11
1・9 パリティ	12
1・10 統 計	13

## 2. 安定同位元素と放射性同位元素

2・1 安定な原子核	15
2・2 自然で生成した RI	18
2・3 RI の壊変形式	20
2・4 RI の 壊変速さ	23
2・5 RI の 製造	25
2・6 RI の 生成する速さ	25

## 3. 放射線の検出

3・1 半導体検出器	32
------------	----

3・1・1	表面障壁型半導体検出器	33
3・1・2	p-n 接合型半導体検出器	34
3・1・3	イオン注入電極型半導体検出器	35
3・1・4	X線検出用 Si(Li) 半導体検出器および高純度 Ge 半導体検出器	35
3・1・5	$\gamma$ 線検出用 Ge(Li) 半導体検出器と高純度 Ge 半導体検出器	37
3・2	気体検出器	39
3・3	NaI(Tl) シンチレーション検出器	41
3・4	放射線量計	43
3・5	波高分析回路	44
3・6	$\gamma$ 線スペクトル	47

#### 4. 原子核スペクトルによる化学分析

4・1	イオンビームによる表面分析	52
4・2	イオンビームアナリシスの実験システム	54
4・3	放射化分析	55
4・4	原子核による分子構造や物性の測定	56

#### 5. 粒子誘起 X 線スペクトロメトリー

5・1	固有 X 線	57
5・2	粒子誘起による X 線の発生効率と各元素の検出感度	59
5・3	固有 X 線スペクトルの測定	60
5・4	トレースアナリシスへの応用	64
5・5	マイクロビームによる PIXE	64

#### 6. ラザフォード後方散乱スペクトロメトリー

6・1	原理	67
6・2	深さ方向の濃度分布	70
6・3	RBS の応用	72

6・4	単結晶内における散乱 (チャネリング).....	75
-----	--------------------------	----

## 7. 即発 $\gamma$ 線スペクトロメトリー

7・1	陽子捕獲-即発 $\gamma$ 線スペクトロメトリー.....	79
7・2	d, t, $\alpha$ , 重イオン照射による即発 $\gamma$ 線スペクトロメトリー.....	80
7・3	共鳴核反応-即発放射線スペクトロメトリー.....	81

## 8. 荷電粒子放射化-壊変 $\gamma$ 線スペクトロメトリー

8・1	荷電粒子による核反応.....	85
8・2	pによる核反応.....	87
8・3	dによる核反応.....	88
8・4	tによる核反応.....	88
8・5	${}^3\text{He}^{2+}$ による核反応.....	89
8・6	${}^4\text{He}^{2+}$ ( $\alpha$ 粒子)による核反応.....	91

## 9. 中性子による放射化分析

9・1	中性子による核反応.....	93
9・2	熱中性子捕獲-即発 $\gamma$ 線スペクトロメトリー.....	94
9・3	高速中性子放射化 $\gamma$ 線スペクトロメトリー.....	96
9・4	熱中性子放射化 $\gamma$ 線スペクトロメトリー.....	98
9・5	共鳴中性子放射化 $\gamma$ 線スペクトロメトリー.....	102

## 10. 光子による放射化分析

10・1	光子と物質の相互作用.....	105
10・2	( $\gamma, \gamma'$ )反応による放射化分析.....	106
10・3	光核反応.....	107
10・4	高エネルギーの光子源.....	108
10・5	( $\gamma, n$ ), ( $\gamma, p$ )による放射化分析.....	110

10・6	SOR 光	111
------	-------	-----

## 11. メスバウアースペクトロメトリー

11・1	メスバウアー効果の原理	113
11・2	$\gamma$ 線エネルギーの変調	115
11・3	アイソマーシフト	116
11・4	四極子分裂	119
11・5	磁気分裂	121
11・6	透過メスバウアースペクトルによる分析	124
11・7	転換電子メスバウアースペクトロメトリー	125

## 12. 反粒子による計測

12・1	素粒子	132
12・2	反粒子と消滅	135
12・3	中間子の生成と壊変	136
12・4	$\mu$ 中間子による計測	137
12・5	ミュオニウムと MuSR	141
12・6	$\mu^-$ による中間子原子の生成と $\mu^-$ SR	142

## 13. 陽電子消滅による計測

13・1	陽電子の生成と消滅	145
13・2	ポジトロニウム	146
13・3	$e^+$ や Ps の寿命測定	148
13・4	2光子消滅の $\gamma$ - $\gamma$ 角度分布測定	150
13・5	消滅 $\gamma$ 線のエネルギープロファイル	153
13・6	Ps の反応	155

## 14. 放射性同位元素を装備した機器

14・1	非破壊検査装置	159
14・2	厚さ計	161
14・3	$\gamma$ 線密度計	163
14・4	$\gamma$ 線レベル計	164
14・5	$\gamma$ 線硫黄分析計	165
14・6	けい光X線分析装置	167
14・7	中性子水分計	167
14・8	熱中性子透過ゲージ	169
14・9	中性子ラジオグラフィ	170
14・10	電子捕獲型ガスクロマトグラフ検出器 (ECD)	170
14・11	$\beta$ 線の後方散乱を利用した化学分析	171
14・12	煙感知器	173
14・13	静電気除去装置	174

## 15. RIによる病気診断

15・1	$\gamma$ 線シンチグラフィ	175
15・2	ポジトロンCT	177
15・3	重イオンビームによる診断と治療	178
15・4	$\pi$ -中間子による医療	179
15・5	RI投与による器官機能の診断と治療	180

## 16. 非密封放射性同位元素による計測

16・1	放射分析	183
16・2	放射滴定	184
16・3	不足当量分析	184
16・4	同位体交換分析	185

16・5	同位体希釈分析 .....	185
16・6	ラジオイムノアッセイ .....	187
16・7	放射性トレーサ .....	189
16・8	アクチバブルトレーサ .....	193
16・9	オートラジオグラフィ .....	194
16・10	年代測定 .....	195

## 17. 安定同位元素の利用

17・1	同位体分析 .....	202
17・2	質量スペクトロメトリー .....	203
17・3	原子スペクトロメトリー .....	206
17・4	分子スペクトロメトリー .....	207

## 18. 核磁気共鳴吸収

18・1	原理 .....	213
18・2	$^1\text{H}$ の NMR .....	217
18・3	$^{13}\text{C}$ の NMR .....	222
18・4	$^{15}\text{N}$ の NMR .....	223
18・5	$^{17}\text{O}$ の NMR .....	224
18・6	$^{19}\text{F}$ の NMR .....	224
18・7	$^{31}\text{P}$ の NMR .....	226
18・8	NMR の測定システム .....	227
18・9	NMR CT .....	228
18・10	電子スピン共鳴吸収 .....	229

## 19. 核四極共鳴吸収

19・1	原理 .....	233
19・2	p 電子と電場勾配 .....	236

19・3	$I=1$ の原子核 ( $^2\text{D}$ , $^{14}\text{N}$ ) の NQR.....	238
19・4	$I=\frac{3}{2}$ の原子核 ( $^7\text{Li}$ , $^9\text{Be}$ , $^{23}\text{Na}$ , $^{33}\text{S}$ , $^{35}\text{Cl}$ , $^{37}\text{Cl}$ , $^{69}\text{Ga}$ , $^{71}\text{Ga}$ , $^{75}\text{As}$ , $^{79}\text{Br}$ , $^{81}\text{Br}$ , $^{87}\text{Rb}$ , $^{125}\text{Ba}$ , $^{197}\text{Au}$ , $^{201}\text{Hg}$ ) の NQR.....	241
19・5	$I=\frac{5}{2}$ の原子核 ( $^{17}\text{O}$ , $^{27}\text{Al}$ , $^{47}\text{Ti}$ , $^{55}\text{Mn}$ , $^{85}\text{Rb}$ , $^{121}\text{Sb}$ , $^{127}\text{I}$ , $^{185}\text{Re}$ , $^{187}\text{Re}$ ) の NQR .....	244
19・6	$I=\frac{7}{2}$ の原子核 ( $^{45}\text{Sc}$ , $^{51}\text{V}$ , $^{59}\text{Co}$ , $^{123}\text{Sb}$ , $^{133}\text{Cs}$ , $^{139}\text{La}$ , $^{181}\text{Ta}$ ) の NQR... ..	245
19・7	$I=\frac{9}{2}$ の原子核 ( $^{73}\text{Ge}$ , $^{83}\text{Kr}$ , $^{93}\text{Nb}$ , $^{113}\text{In}$ , $^{115}\text{In}$ , $^{209}\text{Bi}$ ) の NQR.....	246
19・8	NQR の測定法.....	247
索 引	.....	249