

第1章 放射線線源

1.1 単位および定義	2
1.1.1 放射能	2
1.1.2 エネルギー	3
1.2 高速電子線源	4
1.2.1 ベータ崩壊	4
1.2.2 内部転換	5
1.2.3 オージェ電子	7
1.3 荷電重粒子	7
1.3.1 アルファ崩壊	7
1.3.2 自発核分裂	10
1.4 電磁放射線の線源	11
1.4.1 ベータ崩壊に伴うガンマ線	11
1.4.2 消滅放射線	14
1.4.3 核反応に伴って発生するガンマ線	14
1.4.4 制動放射	15
1.4.5 特性 X 線	17
1.5 中性子源	21
1.5.1 自発核分裂	22
1.5.2 放射性同位元素 (α, n) 線源	23
1.5.3 光中性子源	27
1.5.4 加速された荷電粒子の反応	30
1.5.5 原子炉	30
問題	31
文献	31

第2章 放射線と物質の相互作用

2.1 荷電重粒子の相互作用	34
2.1.1 相互作用の性質	34
2.1.2 阻止能	35
2.1.3 エネルギー損失特性	36
2.1.4 粒子の飛程	38
2.1.5 薄い吸収物質中におけるエネルギー損失	42
2.1.6 比例則	46
2.1.7 核分裂片の振舞	47
2.2 高速電子の相互作用	47
2.2.1 比エネルギー損失	48
2.2.2 電子の飛程と透過曲線	49
2.2.3 陽電子の相互作用	52
2.3 ガンマ線の相互作用	53
2.3.1 相互作用の諸過程	53
2.3.2 ガンマ線の減衰	57
2.4 中性子の相互作用	60
2.4.1 一般的性質	60
2.4.2 低速中性子の相互作用	61
2.4.3 高速中性子の相互作用	61
2.4.4 中性子断面積	62
2.5 放射線照射線量と吸収線量	63
2.5.1 ガンマ線照射線量	63
2.5.2 吸収線量	65
2.5.3 線量当量	66
問 題	67
文 献	68

第3章 計数の統計と誤差の評価

3.1 データの特性の表わし方	72
3.2 統計モデル	76
3.2.1 2項分布	77
3.2.2 ポアソン分布	80

3.2.3	ガウス分布 (正規分布)	82
3.3	統計モデルの応用	86
3.3.1	変動量の観測値が統計変動の予想値と一致するか否かを調べる ための計数系の検定	86
3.3.2	1回の測定における精度の評価	90
3.4	誤差の伝播	93
3.4.1	計数値の和または差の場合	94
3.4.2	定数との積または定数による割り算	95
3.4.3	計数値の積または割り算	96
3.4.4	多数の独立した計数の平均値	97
3.4.5	誤差が等しくない独立した測定の組み合わせ	97
3.5	計数実験の最適化	99
3.6	時間間隔の分布	101
3.6.1	隣接事象間の間隔	102
3.6.2	スケアラで計数された事象間の間隔	103
問 題	104
文 献	108

第4章 放射線検出器の一般的性質

4.1	簡略化した検出器モデル	109
4.2	検出器の動作方式	110
4.3	パルス波高スペクトル	116
4.4	計数曲線とプラトー	118
4.5	エネルギーの分解能	120
4.6	検 出 効 率	123
4.7	不 感 時 間	126
4.7.1	不感時間の振舞に対するモデル	126
4.7.2	不感時間の測定法	129
4.7.3	不感時間による数え落しの統計	132
4.7.4	パルス状線源の場合の不感時間による数え落し	132
問 題	134
文 献	136

第5章 電 離 箱

5.1	ガス中の電離過程	140
5.1.1	形成されるイオン対の数	140
5.1.2	ファノ因子	140
5.1.3	拡散、電荷移動および再結合	141
5.2	電荷移動および収集	143
5.2.1	電荷移動度	143
5.2.2	電離電流	144
5.2.3	飽和に影響を与える要因	145
5.3	直流電離箱の設計および作動	147
5.3.1	一般的考察	147
5.3.2	絶縁物および保護環	147
5.3.3	電離電流の測定	148
5.3.4	エレクトレット	150
5.4	電離箱による放射線線量測定	151
5.4.1	ガンマ線照射線量	151
5.4.2	吸収線量	154
5.5	直流電離箱の応用	155
5.5.1	放射線サーベイメータ	155
5.5.2	放射線線源較正装置	156
5.5.3	放射性ガスの測定	157
5.6	パルスモード動作	158
5.6.1	一般的考察	158
5.6.2	パルス波形の導出	160
5.6.3	格子付電離箱	163
5.6.4	パルスの波高	164
5.6.5	荷電粒子のスペクトル測定	165
問 題		166
文 献		167

第6章 比 例 計 数 管

6.1	ガス増幅	169
6.1.1	電子なだれの形成	169

6.1.2	検出器の動作領域	171
6.1.3	形状の選択	172
6.2	比例計数管の設計上の特徴	174
6.2.1	封じ切り型比例計数管	174
6.2.2	窓なしフロー型比例計数管	175
6.2.3	充填ガス	177
6.3	比例計数管の性能	179
6.3.1	ガス増幅率	179
6.3.2	空間電荷効果	182
6.3.3	エネルギー分解能	183
6.3.4	信号パルスの時間特性	189
6.3.5	擬似パルス	194
6.4	検出効率および計数曲線	195
6.4.1	動作電圧の選択	195
6.4.2	アルファ粒子の計数	195
6.4.3	ベータ粒子の計数	196
6.4.4	混合線源	197
6.4.5	X線およびガンマ線の計数	197
6.5	比例計数管の変形	198
6.5.1	平行平板型なだれ計数管	198
6.5.2	位置敏感型比例計数管	199
6.5.3	マルチワイヤ比例計数管	200
6.5.4	ガス比例シンチレーション計数管	202
問 題		205
文 献		206

第7章 ガイガーミュラー計数管

7.1	ガイガー放電	210
7.2	充填ガス	212
7.3	消滅	212
7.4	時間的挙動	215
7.4.1	パルス波形	215
7.4.2	不感時間	216
7.5	ガイガー計数プラトー	217

7.6 設計の特徴	219
7.7 計数効率	221
7.7.1 荷電粒子	221
7.7.2 中性子	221
7.7.3 ガンマ線	221
7.8 GM サーベイメータ	222
問題	224
文献	225

第8章 シンチレーション検出器の原理

8.1 有機シンチレータ	228
8.1.1 有機物質中のシンチレーション機構	228
8.1.2 有機シンチレータの種類	231
8.1.3 有機シンチレータの応答	233
8.2 無機シンチレータ	240
8.2.1 活性化物質入り無機結晶中のシンチレーション機構	240
8.2.2 アルカリハライドシンチレータの特性	244
8.2.3 他の各種の無機結晶	247
8.2.4 ガラスシンチレータ	250
8.2.5 気体シンチレータ	252
8.3 集光およびシンチレータの取り付け方法	253
8.3.1 集光の均一性	253
8.3.2 光パイプ	255
8.3.3 波長シフタ	259
問題	260
文献	261

第9章 光電子増倍管と光ダイオード

9.1 序 言	267
9.2 光電陰極	268
9.2.1 光電子放出過程	268
9.2.2 自発的電子放出	270
9.2.3 光電陰極の製法	270

9.2.4 量子効率とスペクトル感度	271
9.3 電子増倍	273
9.3.1 2次電子放出	273
9.3.2 負の電子親和性物質	274
9.3.3 多段増倍	275
9.3.4 電子増倍の統計	276
9.4 光電子増倍管の特性	278
9.4.1 構造の違い	278
9.4.2 パルスタイミング特性	281
9.4.3 最大定格	284
9.4.4 光電子増倍管の仕様	284
9.4.5 直線性	285
9.4.6 雑音および擬似パルス	285
9.4.7 光陰極の不均一性	287
9.4.8 計数率による利得の変化	287
9.4.9 温度による利得の変化〔訳補〕	288
9.5 光電子増倍管の付属品	288
9.5.1 高電圧電源および分圧器	288
9.5.2 磁気遮蔽	292
9.6 光電子増倍管の代替品としての光ダイオード	292
9.6.1 光ダイオードの潜在的特徴	292
9.6.2 通常の光ダイオード	293
9.6.3 なだれ型光ダイオード	295
9.7 シンチレーションパルス波形の解析	296
9.7.1 時定数が大きい場合 ($\theta \ll \lambda$)	297
9.7.2 時定数が小さい場合 ($\theta \gg \lambda$)	299
9.8 位置敏感型光電子増倍管	300
9.9 光電離検出器	301
問 題	302
文 献	303

第 10 章 シンチレータを用いた放射線スペクトル測定

10.1 ガンマ線スペクトル測定の一般的考察	308
10.2 ガンマ線の相互作用	309

10.2.1	光電吸収	309
10.2.2	コンプトン散乱	310
10.2.3	電子対生成	312
10.3	予測される応答関数	313
10.3.1	小形の検出器	313
10.3.2	非常に大形の検出器	314
10.3.3	中形の検出器	316
10.3.4	応答関数複雑化の要因	318
10.3.5	加算効果	323
10.3.6	ガンマ線スペクトロメータにおける同時計数法	325
10.4	シンチレーションガンマ線スペクトロメータの特性	326
10.4.1	応答関数	326
10.4.2	エネルギー分解能	332
10.4.3	直線性	336
10.4.4	検出効率	337
10.5	シンチレーション検出器の中性子に対する応答	344
10.6	シンチレータによる電子スペクトル測定	345
10.7	シンチレーションに基づく特殊な検出器	347
10.7.1	ホスウィッチ検出器	347
10.7.2	モクソンレー検出器	347
10.7.3	液体シンチレーションカウンタ	348
10.7.4	位置敏感型シンチレータ	350
問 題		353
文 献		355

第 11 章 半導体ダイオード検出器

11.1	半導体の性質	360
11.1.1	固体中のバンド構造	360
11.1.2	電荷キャリア	361
11.1.3	電界中の電荷キャリアの移動	363
11.1.4	不純物あるいはドーパントの影響	364
11.1.5	捕獲および再結合	369
11.2	半導体中の電離性放射線の作用	370
11.2.1	電離エネルギー	370

11.2.2	ファノ因子	371
11.3	放射線検出器としての半導体	372
11.3.1	電 極	372
11.3.2	漏れ電流	373
11.3.3	半導体接合	373
11.4	半導体検出器の形式	383
11.4.1	拡散接合型検出器	383
11.4.2	表面障壁型検出器	383
11.4.3	イオン注入型検出器	384
11.4.4	全空乏層型検出器	385
11.4.5	不活性化プレナ型検出器	388
11.5	動作特性	390
11.5.1	漏れ電流	390
11.5.2	検出器雑音およびエネルギー分解能	391
11.5.3	検出器バイアス電圧による変化	391
11.5.4	パルスの立ち上がり時間	392
11.5.5	入射窓および不感層	394
11.5.6	チャネリング	395
11.5.7	放射線損傷	395
11.5.8	エネルギー較正	396
11.5.9	パルス波高欠損	398
11.6	シリコンダイオード検出器の応用	400
11.6.1	荷電粒子スペクトル測定の概要	400
11.6.2	アルファ粒子スペクトル測定	401
11.6.3	重イオンと核分裂片のスペクトル測定	402
11.6.4	エネルギー損失測定——粒子識別	405
11.6.5	電流モードでの使用	407
問 題		408
文 献		409

第12章 ゲルマニウムガンマ線検出器

12.1	一般的考察	415
12.2	ゲルマニウム検出器の形態	416
12.2.1	高純度ゲルマニウム (HPGe) 検出器の製作方法	416

12.2.2	プレナ型検出器の形態	417
12.2.3	同軸型検出器の形態	418
12.2.4	電圧と静電容量	420
12.2.5	表面不感層	423
12.3	ゲルマニウム検出器の動作特性	424
12.3.1	検出器クライオスタットおよびデューワー	424
12.3.2	エネルギー分解能	426
12.3.3	パルス波形およびタイミング特性	430
12.4	ゲルマニウム検出器を使用したガンマ線スペクトル測定	439
12.4.1	応答関数	440
12.4.2	連続部分を減少させる方法	449
12.4.3	エネルギーの較正	454
12.4.4	検出効率	457
12.4.5	検出器の性能に及ぼす種々の効果	469
問 題		372
文 献		473

第 13 章 その他の半導体検出器

13.1	リチウムドリフト型シリコン検出器	479
13.1.1	イオンドリフト過程	480
13.1.2	$p-i-n$ 構造	481
13.1.3	電界およびパルス波形	483
13.1.4	低エネルギー光子スペクトル測定	487
13.1.5	電子スペクトル測定	497
13.2	シリコン, ゲルマニウム以外の半導体物質	499
13.2.1	テルル化カドミウム	503
13.2.2	ヨウ化第 2 水銀	504
13.2.3	その他の種々の物質	506
13.3	電子なだれ型検出器	508
13.4	位置敏感型半導体検出器	509
問 題		512
文 献		512

第14章 低速中性子検出法

14.1	中性子検出に用いる重要な核反応	517
14.1.1	$^{10}\text{B}(n, \alpha)$ 反応	519
14.1.2	$^6\text{Li}(n, \alpha)$ 反応	520
14.1.3	$^3\text{He}(n, p)$ 反応	521
14.1.4	中性子核分裂反応	522
14.2	ホウ素反応に基づく検出器	522
14.2.1	BF_3 計数管のパルス波高分布——壁効果	522
14.2.2	BF_3 計数管の構造	526
14.2.3	ガンマ線の弁別	527
14.2.4	BF_3 計数管の検出効率	527
14.2.5	ホウ素被覆比例計数管	528
14.2.6	ホウ素装荷シンチレータ	529
14.3	他の変換反応に基づく検出器	530
14.3.1	リチウム含有低速中性子検出器	530
14.3.2	^3He 比例計数管	531
14.3.3	核分裂計数管	532
14.4	原子炉計装	535
14.4.1	一般的考察	535
14.4.2	原子炉計装系統の概要	537
14.4.3	炉心内検出器	540
問題		548
文献		549

第15章 高速中性子の検出とスペクトル測定

15.1	中性子減速に基づく検出器	554
15.1.1	一般的考察	554
15.1.2	球形の線量計	555
15.1.3	ロングカウンタ	559
15.1.4	その他の減速に基づく検出器	562
15.2	高速中性子反応に基づく検出器	562
15.2.1	$^6\text{Li}(n, \alpha)$ 反応による方法	564
15.2.2	$^3\text{He}(n, p)$ 反応を用いた検出器	567

15.3	高速中性子散乱を用いた検出器	571
15.3.1	一般的性質	571
15.3.2	反跳陽子シンチレータ	576
15.3.3	ガス入り反跳比例計数管	584
15.3.4	陽子反跳テレスコープ	588
問 題		590
文 献		592

第 16 章 パルスの処理と整形

16.1	装置のインピーダンス	599
16.2	同軸ケーブル	601
16.2.1	ケーブルの構造	601
16.2.2	ケーブルの性質	602
16.2.3	雑音の拾い込みと装置の接地法	603
16.2.4	特性インピーダンスとケーブルの反射	604
16.2.5	有用な同軸ケーブル用アクセサリ	607
16.3	パルス整形	609
16.3.1	CR 整形と RC 整形	610
16.3.2	ポールゼロ消去	618
16.3.3	ベースラインのシフト	620
16.3.4	その他のパルス整形法	623
問 題		627
文 献		628

第 17 章 リニアパルスとロジックパルスの機能

17.1	リニアパルスとロジックパルス	629
17.1.1	リニアパルス	629
17.1.2	ロジックパルス	630
17.2	装置の規格	631
17.3	パルス処理ユニットの概要	632
17.4	一般の測定に共通な回路要素	635
17.4.1	前置増幅器	635
17.4.2	検出器バイアスと高電圧電源	643

17.4.3	パルス発生器	644
17.5	パルス計数装置	646
17.5.1	積分型波高弁別器	646
17.5.2	シングルチャネル波高分析器	648
17.5.3	スケーラあるいはカウンタ	649
17.5.4	タイマ	650
17.5.5	計数率計	650
17.5.6	計数装置の不感時間	653
17.6	パルス波高分析装置	654
17.6.1	一般的考察	654
17.6.2	弾道欠損	655
17.6.3	信号対雑音比に関する考察	656
17.6.4	パイルアップ	659
17.6.5	比例増幅器	670
17.6.6	バイアス増幅器	674
17.6.7	加算増幅器あるいは差動増幅器	675
17.6.8	リニアゲート	675
17.6.9	パルスストレッチャ	675
17.7	パルスのタイミングに関連する装置	675
17.7.1	タイムピックオフ	676
17.7.2	タイミング性能の測定	683
17.7.3	タイミング測定用モジュール装置	694
17.8	波形弁別法	699
問 題		701
文 献		703

第 18 章 マルチチャネルパルス分析

18.1	シングルチャネル法	707
18.1.1	走査形シングルチャネル波高分析法	707
18.1.2	シングルチャネル波高分析器の積み重ね方式	709
18.2	マルチチャネル波高分析器の一般的な特性	711
18.2.1	必要なチャネル数	711
18.2.2	較正と直線性	713
18.3	マルチチャネル波高分析器	715

18.3.1	基本回路と機能	715
18.3.2	アナログデジタル変換器 (ADC)	718
18.3.3	メモリ	723
18.3.4	補助機能	723
18.4	スペクトルの安定化	728
18.5	計算機化スペクトル分析	730
18.5.1	デコンボリューションあるいはアンフォールディング	730
18.5.2	スペクトルストリッピング	732
18.5.3	ピークを持つスペクトルの解析	733
問題		737
文献		738

第 19 章 その他の放射線検出器

19.1	チェレンコフ検出器	741
19.2	自己消滅ストリーマモードのガス入り検出器	744
19.3	液体電離箱と液体比例計数管	746
19.4	極低温検出器と超伝導検出器	748
19.4.1	極低温マイクロカロリメータとボロメータ	748
19.4.2	超伝導微粒子検出器	750
19.5	写真乳剤	751
19.5.1	ラジオグラフィ用フィルム	751
19.5.2	原子核乾板	753
19.5.3	フィルムバッジ線量計	754
19.6	熱ルミネセンス線量計	756
19.6.1	熱ルミネセンス機構	756
19.6.2	熱ルミネセンス物質	758
19.7	固体飛跡検出器	760
19.7.1	飛跡記録の過程	760
19.7.2	飛跡のエッチング	763
19.7.3	飛跡の計数と応用	764
19.8	放射化による中性子の検出	765
19.8.1	放射化と崩壊	765
19.8.2	放射化検出器の物質	767
19.8.3	放射化カウンタ	771

問 題	773
文 献	774

第 20 章 バックグラウンドと検出器の遮蔽

20.1	バックグラウンドの起源	779
20.1.1	一般の物質の放射能	780
20.1.2	気中放射能	784
20.1.3	宇宙線	784
20.2	ガンマ線スペクトル中のバックグラウンド	785
20.2.1	相対的寄与	785
20.2.2	バックグラウンド計数率の変動	788
20.2.3	線源に関連したバックグラウンド	788
20.3	その他の検出器のバックグラウンド	790
20.3.1	ガス入り計数管	790
20.3.2	半導体荷電粒子検出器	791
20.4	遮蔽材料	791
20.4.1	低バックグラウンド遮蔽用の普通材料	791
20.4.2	中性子遮蔽	794
20.5	能動的バックグラウンド低減法	796
20.5.1	逆同時計数遮蔽	796
20.5.2	同時計数	799
問 題	799	
文 献	800	

〔付 録〕

付録 1.	NIM および CAMAC 装置の規格	803
付録 2.	ケーブルコネクタ	809
付録 3.	放射線に関する主要単位 (訳補)	813
索 引		巻末