

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
1.2.4 電子加速器	
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
1.3.3 加速器線源	11
1.4 電磁放射線の線源	
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	15
1.4.6 シンクロトロン放射	22
1.5 中性子源	22
1.5.1 自発核分裂	22
1.5.2 放射性同位元素 (α 、 η) 線源	24
1.5.3 光中性子源	28
1.5.4 加速された荷電粒子の反応	30
1.5.6 原子炉	31
問題	31
文献	32

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	37

2.1.4 粒子の飛程	39
2.1.5 薄い吸収物質中におけるエネルギー損失	43
2.1.6 比例則	45
2.1.7 核分裂片の振舞	48
2.1.8 表面からの2次電子放出	48
2.2 高速電子の相互作用	49
2.2.1 比エネルギー損失	49
2.2.2 電子の飛程と透過曲線	50
2.2.3 陽電子の相互作用	54
2.3 ガンマ線の相互作用	54
2.3.1 相互作用の諸過程	55
2.3.2 ガンマ線の減衰	60
2.4 中性子の相互作用	62
2.4.1 一般的性質	62
2.4.2 低速中性子の相互作用	63
2.4.3 高速中性子の相互作用	63
2.4.4 中性子断面積	64
2.5 放射線照射線量と吸収線量	65
2.5.1 ガンマ線照射線量	66
2.5.2 吸収線量	67
2.5.3 線量当量	68
2.5.4 フルエンスから線量への変換	69
2.5.5 ICRP 線量単位	70
問題	72
文献	74

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	76
3.2 統計モデル	80
3.2.1 2項分布	81
3.2.2 ポアソン分布	84
3.2.3 ガウス分布（正規分布）	86
3.3 統計モデルの応用	90
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	90

3.3.2 一回の測定における精度の評価	95
3.4 誤差の1伝播	98
3.4.1 計数値の和または差の場合	99
3.4.2 定数との積または定数による割り算	100
3.4.3 計数値の積または割り算	101
3.4.4 多数の独立した計数の平均値	102
3.4.5 誤差が等しくない独立した測定の組み合わせ	103
3.5 計数実験の最適化	105
3.6 検出可能な限界	107
3.7 時間間隔の分布	110
3.7.1 隣接事象間の間隔	110
3.7.2 次の事象までの時間測定	111
3.7.3 スケータで計数された事象間の間隔	112
問題	113
文献	117

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	119
4.2 検出器の動作方式	120
4.3 パルス波高スペクトル	126
4.4 計数曲線とプラトー	128
4.5 エネルギー分解能	130
4.6 検出効率	133
4.7 不感時間	137
4.7.1 不感時間の振舞に対するモデル	137
4.7.2 不感時間の測定法	140
4.7.3 不感時間による数え落しの統計	143
4.7.4 パルス状線源の場合の不感時間による数え落とし	143
問題	146
文献	147

第5章 電離箱

5.1 ガス中の電離過程	150
5.1.1 形成されるイオン対の数	150

5.1.2	ファノ因子	150
5.1.3	拡散, 電荷移動および再結合	150
5.2	電荷移動および収集	150
5.2.1	電荷移動度	153
5.2.2	電離電流	153
5.2.3	飽和に影響を与える要因	156
5.3	直流電離箱の設計および作動	158
5.3.1	一般的考察	158
5.3.2	絶縁物および保護環	158
5.3.3	電離電流の測定	159
5.3.4	エレクトレット	161
5.4	電離箱による放射線線量測定	162
5.4.1	ガンマ線照射線量	162
5.4.2	吸収線量	165
5.5	直流電離箱の応用	166
5.5.1	放射線サーベイメータ	166
5.5.2	放射線線源校正装置	168
5.5.3	放射性ガスの測定	169
5.5.4	電離の遠隔測定	170
5.6	パルスモード動作	170
5.6.1	一般的考察	170
5.6.2	パルス波形の導出	171
5.6.3	格子付き電離箱	175
5.6.4	パルスの波高	176
5.6.5	エネルギー分解能の統計的限界	177
5.6.6	荷電粒子のスペクトル測定	178
	問題	179

第6章 比例計数管

6.1 ガス増幅	181
6.1.1 電子なだれの形成	181
6.1.2 検出器の動作領域	182
6.1.3 形状の選択	184
6.2 比例計数管の設計上の特徴	186
6.2.1 封じ切り型比例計数管	186
6.2.2 窓なしフロー型比例計数管	188
6.2.3 充填ガス	190
6.3 比例計数管の性能	192
6.3.1 ガス増幅串	192
6.3.2 空間電荷効果	195
6.3.3 エネルギー分解能	197
6.3.4 信号パルスの時間特性	203
6.3.5 疑似パルス	208
6.4 検出効率および計数曲線	209
6.4.1 動作電圧の選択	209
6.4.2 アルファ粒子の計数	209
6.4.3 ベータ粒子の計数	210
6.4.4 混合線源	211
6.4.5 X線およびガンマ線の計数	211
6.5 比例計数管の変形	213
6.5.1 組織等価比例計数管	
6.5.2 平行平板型なだれ計数管	213
6.5.3 位置敏感型比例計数管	214
6.5.4 マルチワイヤ比例計数管	215
6.5.5 マイクロストリップガス入り計数管	216
6.5.6 ガス比例シンチレーション計数管	218
問題	220
文献	225

第7章 ガイガーミュラー計数管

7.1 ガイガー放電	228
7.2 充填ガス	230
7.3 消滅	231
7.4 時間的挙動	233
7.4.1 パルス波形	233
7.4.2 不感時間	234
7.5 ガイガー計数プラトー	235
7.6 設計の特徴	237
7.7 計数効率	239
7.7.1 荷電粒子	239
7.7.2 中性子	239
7.7.3 ガンマ線	240
7.8 最初の計数までの時間測定	241

7.9 GMサーベイメータ	243
問題	244
文献	246

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	248
8.1.1 有機物質中のシンチレーション機構	248
8.1.2 有機シンチレータの種類	251
8.1.3 有機シンチレータの応答	254
8.2 無機シンチレータ	261
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	261
8.2.2 アルカリハライドシンチレータの特性	266
8.2.3 他の応答の遅い各種の無機結晶	269
8.2.4 低光収率で高速の非活性化シンチレータ	272
8.2.5 セリウム活性化高速無機シンチレータ	274
8.2.6 ガラスシンチレータ	276
8.2.7 気体シンチレータ	277
8.2.8 無機シンチレータの放射線損傷効果	279
8.3 集光およびシンチレータの取り付け方法	279
8.3.1 集光の均一性	279
8.3.2 光パイプ	282
8.3.3 ファイバーシンチレータ	286
8.3.4 波長シフト	292
問題	294
文献	295

第9章 光電子増倍管と光ダイオード

9.1 序言	299
9.2 光電陰極	301
9.2.1 光電子放出過程	301
9.2.2 自発的電子放出	302
9.2.3 光電陰極の製法	302
9.2.4 量子効率とスペクトル感度	303
9.3 電子増倍	305
9.3.1 2次電子放出	305
9.3.2 負の電子親和性物質	306
9.3.3 多段増倍	307
9.3.4 電子増倍の統計	308
9.4 光電子増倍管の特性	310
9.4.1 構造の違い	310
9.4.2 パルスタイミング特性	313
9.4.3 最大定格	316
9.4.4 光電子増倍管の仕様	316
9.4.5 直線性	317
9.4.6 雑音および疑似パルス	317
9.4.7 光電子陰極の不均一性	319

9.4.8 計数率による利得の変化	320
9.4.9 温度による利得の変化〔訳補〕	320
9.5 光電子増倍管の付属品	321
9.5.1 高電圧電源および分圧器	321
9.5.2 磁気遮蔽	324
9.6 光電子増倍管の代替品としての光ダイオード	325
9.6.1 光ダイオードの潜在的特徴	325
9.6.2 通常の光ダイオード	325
9.6.3 なだれ型光ダイオード	330
9.7 シンチレーションパルス波形の解析	332
9.7.1 時定数が大きい場合 ($\theta \ll \lambda$)	333
9.7.2 時定数が小さい場合 ($\theta \gg \lambda$)	335
9.8 ハイブリッド型光電子増倍管	337
9.8.1 HPMTの設定	337
9.8.2 HPMTの動作特性	338
9.8.3 新種のHPTM	340
9.9 位置敏感型光電子増倍管	340
9.10 光電離検出器	343
問題	344
文献	345
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	348
10.2 ガンマ線の相互作用	349
10.2.1 光電九吸収	349
10.2.2 コンプトン散乱	350
10.2.3 電子対生成	352
10.3 予測される応答関数	353
10.3.1 小形の検出器	353
10.3.2 非常に大型の検出器	355
10.3.3 中形の検出器	356
10.3.4 応答関数複雑化の要因	359
10.3.5 加算効果	364
10.3.6 ガンマ線スペクトロメーにおける同時計数法	366
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	367
10.4.1 応答関数	367
10.4.2 エネルギー分解能	371
10.4.3 直線性	377
10.4.4 検出効率	379
10.5 シンチレーション検出器の中性子に対する応答	387
10.6 シンチレータによる電子スペクトル測定	388

10.7 シンチレーションに基づく特殊な検出器	389
10.7.1 ホスウィッチ検出器	389
10.7.2 モクソンレー検出器	390
10.7.3 液体シンチレーションカウンタ	391
10.7.4 位置敏感型シンチレータ	393
問題	396
文献	398

第 11 章 半導体ダイオード検出器

11.1 半導体の性質	402
11.1.1 固体中のバンド構造	402
11.1.2 電荷キャリア	403
11.1.3 電界中の電荷キャリアの移動	404
11.1.4 不純物あるいはドーパントの影響	406
11.1.5 捕獲および再結合	413
11.2 半導体中の電離性放射線の作用	414
11.2.1 電離エネルギー	414
11.2.2 ファノ因子	416
11.3 放射線検出器としての半導体	417
11.3.1 パルスの形成	417
11.3.2 電極	418
11.3.3 漏れ電流	418
11.3.4 半導体接合	419
11.4 半導体検出器の形式	428
11.4.1 拡散接合検出器	428
11.4.2 表面障壁型検出器	429
11.4.3 イオン注入型検出器	430
11.4.4 全空乏層型検出器	430
11.4.5 不活性プレナ型検出器	434
11.5 動作特性	435
11.5.1 漏れ電流	435
11.5.2 検出器雑音 a および j エネルギー分解能	436
11.5.3 検出器バイアス電圧による変化	437
11.5.4 パルスの立ち上がり時間	438
11.5.5 入射窓および不層感	439
11.5.6 チャネリング	440

11. 5. 7 放射線損傷	440
11. 5. 8 エネルギー較正	442
11. 5. 9 パルス波高欠損	442
11. 6 シリコンダイオード検出器の応用	445
11. 6. 1 荷電粒子スペクトル測定の概要	445
11. 6. 2 アルファ粒子スペクトル測定	446
11. 6. 3 重イオンと核分裂片のスペクトル測定	448
11. 6. 4 エネルギー損失測定—粒子識別	450
11. 6. 5 シリコンダイオードによる X 線スペクトル測定	453
11. 6. 6 電流モードでの使用	453
11. 6. 7 従事者モニターとしてのシリコンダイオード	454
問題	456
文献	458

第 12 章 ゲルマニウムガンマ線検出器

12. 1 一般的考察	461
12. 2 ゲルマニウム検 111 器の形態	462
12. 2. 1 高純度ゲルマニウム (HPGe) 検出器の製作方法	462
12. 2. 2 プレナ型検出器の形態	463
12. 2. 3 同軸型検出器の形態	465
12. 2. 4 電圧と静電容量	466
12. 2. 5 表面不感層	470
12. 3 ゲルマニウム検出器の動作特性	470
12. 3. 1 検出器クライオスタットおよびデュワー	470
12. 3. 2 エネルギー分解能	473
12. 3. 3 パルス波形およびタイミング特性	477
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	486
12. 4. 1 応答関数	487
12. 4. 2 連続部分を減少させる力法	494
12. 4. 3 エネルギーの較正	501
12. 4. 4 検出効率	505
12. 4. 5 検出器の性能に及ぼす種々の効果	513
問題	516
文献	517

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	519
13. 1. 1 イオンドリフト過程	520

13.1.2	p-i-n 構造	521
13.1.3	電界およびパルス波形	523
13.1.4	低エネルギー光子スペクトル測定	527
13.1.5	電子スペクトル測定	537
13.2	シリコン, ゲルマニウム以外の半導体物質	540
13.2.1	全般的事項	540
13.2.2	ブレナ型検出器の動作の概要	543
13.2.3	CdTe 検出器	546
13.2.4	HgI ₃ 検出器	549
13.2.5	CZT 検出器	551
13.2.6	その他の半導体検出器	553
13.3	電子なだれ型検出器	554
13.4	光伝導型検出器	556
13.5	位置敏感型半導体検出器	557
13.5.1	抵抗電荷分割	558
13.5.2	マイクロストリップ半導体検出器	559
13.5.3	パッド型検出器, ピクセル型検出器	560
13.5.4	半導体ドリフト型検出器	561
13.5.4.5	CCD の応用	563
	問題	567
	文献	569
第 14 章 低速中性子検出法		
14.1	中性子検出用いる重要な核反応	572
14.1.1	¹⁰ B (η , α) 反応	573
14.1.2	⁶ Li (η , α) 反応	574
14.1.3	³ He (η , ρ) 反応	575
14.1.4	ガドリニウムの中性子捕獲反応	575
14.1.5	中性子核分裂反応	575
14.2	ホウ素反応に基づく検出器	577
14.2.1	BF ₃ 計数管のパルス波高分布—壁効果	577
14.2.2	BF ₃ 計数管の構造	580
14.2.3	ガンマ線の弁別	581
14.2.4	BF ₃ 計数管の検出効率	582
14.2.5	ホウ素被覆比例計数管	583
14.2.6	ホウ素装荷シンチレータ	584
14.3	他の変換反応に基づく検出器	585

14.3.1 リチウム含有低速中性子検出器	585
14.3.2 ^3He 比例計数管	586
14.3.3 核分裂計数管	589
14.4 原子炉計装	591
14.4.1 一般的考察	591
14.4.2 原子炉計装システムの概要	593
14.4.3 炉心内検出器	597
問題	604
文献	605

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	608
15.1.1 一般的考察	608
15.1.2 球形の線量計	609
15.1.3 ロングカウンタ	613
15.1.4 その他の減速に基づく検出器	616
15.2 高速中性子反応に基づく検出器	617
15.2.1 $^6\text{Li}(\eta, \alpha)$ 反応による方法	618
15.2.2 $^3\text{He}(\eta, \alpha)$ 反応を用いた検出器	622
15.3 高速中性子散乱を用いた検出器	626
15.3.1 一般的性質	626
15.3.2 反跳陽子シンチレータ	631
15.3.3 ガス入り反跳比例計数管	639
15.3.4 陽子反跳テレスコープ	643

15.3.5捕獲ゲート方式中性子スペクトロメータ	645
問題	648
文献	650
第16章 パルスの処理と整形	
16.1装置のインピーダンス	653
16.2同軸ケーブル	655
16.2.1ケーブルの構造	655
16.2.2ケーブルの性質	656
16.2.3雑音の拾い込みと装置の接地法	657
16.2.4特性インピーダンスとケーブルの反射	658
16.2.5有用な同軸ケーブル用アクセサリ	661
16.3パルス整形	663
16.3.1CR整形とRC整形	664
16.3.2ポールゼロ消去	673
16.3.3ペースラインのシフト	675
16.3.4その他のパルス整形法	678
問題	682
文献	683
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	685
17.1.1リニアパルス	685
17.1.2ロジックパルス	686
17.2装置の規格	687
17.3特定用途向け集積回路(ASIC)	688
17.4パルス処理ユニットの概要	689
17.5一般の測定に共通な回路要素	691
17.5.1前置増幅器	691
17.5.2検出器バイアスと高電圧電源	701
17.5.3パルス発生器	702
17.6パルス計数装置	703
17.6.1積分型波高弁別器	704
17.6.2シングルチャネル波高分析器	706
17.6.3スケーラあるいはカウンタ	707
17.6.4タイマ	708
17.6.5計数率系	708
17.6.6計数装置の不感時間	711
17.7パルス波高分析装置	712
17.7.1一般的考察	712
17.7.2弾道欠損	714
17.7.3信号対雑音比に関する考察	714
17.7.4雑音の整形時間と静電容量依存性	718
17.7.5パイルアップ	719
17.7.6比例増幅器	730
17.7.7バイアス増幅器	734

17.7.8加算増幅器あるいは作動増幅器	735
17.7.9リニアゲート	735
17.7.10パルスストレッチャー	736
17.8デジタルパルス処理	736
17.8.1アナログデジタル変換器(ADC)	737
17.8.2 デジタル整形およびフィルタ動作	745
17.8.3パルス波形解析	748
17.8.4 デジタルベースライン再生	748
17.8.5パイルアップしたパルスのデコンボリューション	749
17.9パルスのタイミングに関連する装置	750
17.9.1タイムピックオフ法	750
17.9.2タイミング性能の測定	757
17.9.3タイミング測定用モジュール装置	769
17.10波形弁別法	774
問題	776
文献	779
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	781
18.2マルチチャネル波高分析器の一般的な特性	783
18.2.1必要なチャネル数	783
18.2.2較正と直線性	785
18.3マルチチャネル波高分析器	788
18.3.1基本回路と機能	788
18.3.2マルチチャネル波高分析器用アナログデジタル変換器	791
18.3.3メモリ	795
18.3.4補助機能	796
18.4スペクトルの安定化と整列法	800
18.4.1能動的スペクトル安定化	800
18.4.2スペクトルの整列法	802
18.5スペクトル分析	804
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	804
18.5.2 スペクトルストリッピング	807
18.5.3ピークを持つスペクトルの解析	807
問題	810
文献	812
第19章 その他の放射線検出器	
19.1チェレンコフ検出器	813
19.2自己消滅ストリーマモードのガス入り検出器	816
19.3高圧キセノンスペクトロメータ	819
19.4液体電離箱と液体比例計数管	820
19.5極低温検出器と超伝導検出器	822
19.5.1極低音マイクロカロリメータとボロメータ	822
19.5.2遷移端検出器	824
19.5.3超伝導微粒子およびストリップ	827

19.5.4超伝導トンネル接合	829
19.6写真乳剤	831
19.6.1ラジオグラフィ用フィルム	832
19.6.2原子核乾板	834
19.6.3フィルムバッチ線量計	835
19.7熱ルミネセンス線量計とイメージングプレート	836
19.7.1熱ルミネセンスの機構	836
19.7.2熱ルミネセンスの物質	836
19.7.3輝尽発光	840
19.7.4イメージングプレート	842
19.8固体飛跡検出器	843
19.8.1飛跡記録の過程	843
19.8.2飛跡のエッチング	846
19.8.3飛跡の計数と応用	847
19.9過熱液滴のバブル検出器	848
19.9.1一般的な原理	848
19.9.2受動的バブル検出器	849
19.9.3能動的バブル検出器	850
19.9.4中性子線量測定への応用	850
19.9.5その他の考慮すべき点	851
19.10放射化による ^{11j} 中性子の検出	851
19.10.1放射化と崩壊	852
19.10.2放射化検出器の物質	854
19.10.3放射化カウンタ	857
19.11集積回路素子を用いた放射線検出法	860
19.11.1直接イオン蓄積線量計(DIS線量計)	860
19.11.2MOSFET線量計	861
19.11.3放射線検出器としてのメモリセル	862
問題	863
文献	864
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	867
20.1.1一般の物質の放射能	868
20.1.2気中放射能	871
20.1.3宇宙線	871
20.2ガンマ線スペクトル中のバックグラウンド	872
20.2.1相対的寄与	872
20.2.2バックグラウンド計数率の変動	875
20.2.3線源に関連したバックグラウンド	876
20.3その他の検出器のバックグラウンド	877
20.3.1ガス入り計数管	877
20.3.2半導体荷電粒子検出器	878
20.4遮蔽材料	879
20.4.1低バックグラウンド遮蔽用の普通の材料	879

20.4.2中性子遮蔽	881
20.5能動的バックグラウンド低減法	883
20.5.1逆同時計遮蔽	883
20.5.2同時計数	884
問題	886
文献	887
〔付録〕	
付録1. NIMおよびCAMAC装置の規格	889
付録2. 第3章の標本分散の式〔3.9〕の導出	895
付録3. 平均値が変化する場合の計数データの統計的振舞	897
付録4. 誘導電荷に対するShockley-Ramoの定理	901
付録5. 放射線に関連する主要単位〔訳補〕	909
索引	911