

目 次

口絵	i
はしがき	iii
執筆者一覧	v
第 1 部 基礎編	
第 1 章 序論 3	
1.1 プラズマ	3
1.2 本書の構成	5
1.3 単位系	5
第 2 章 原子の構造とスペクトル 9	
はじめに	9
2.1 原子の電子状態の記述	9
2.1.1 独立粒子モデルに基づく原子の描像	10
2.1.2 有効ポテンシャルと有効 1 電子原子	13
2.1.3 有効 1 電子原子の相対論効果	17
2.1.4 外部電磁場の中に置かれた有効 1 電子原子	18
2.1.5 有効 1 電子原子の電気双極子遷移と選択則	19
2.2 多電子原子の構造とスペクトル	22
2.2.1 2 電子原子の電子状態の記述	22
2.2.2 2 電子励起状態の記述と連続状態との結合	23
2.2.3 多配置ハートレー—フォック法による電子相関効果の記述	24
2.2.4 原子の基底状態の配置間混合	25
2.2.5 内殻励起状態との配置間混合	25
2.2.6 多電子原子の電気双極子遷移と選択則	26
第 3 章 分子の構造とスペクトル 29	
はじめに	29
3.1 分子の電子状態	29
3.1.1 ボルン—オッペンハイマー近似とポテンシャル曲線	29
3.1.2 分子軌道の成り立ち	30
3.1.3 分子の項記号	32
3.2 分子のスペクトル	33
3.2.1 電気双極子遷移	33
3.2.2 電子スペクトル	34
3.2.3 連続状態への電子遷移と光電子分光	36
3.2.4 分子振動と振動スペクトル	38
3.2.5 分子回転と回転スペクトル	42
3.2.6 ラマン散乱	45
3.2.7 電子振動回転遷移と振電相互作用	46
第 4 章 衝突断面積と反応速度係数 49	
はじめに	49
4.1 衝突断面積	49
4.1.1 衝突断面積	49
4.1.2 衝突断面積の測定	52
4.1.3 実験室系と重心系	53
4.2 反応速度係数と輸送係数	55
4.2.1 マクスウェル—ボルツマンの速度分布則	55
4.2.2 反応速度係数と断面積の関係	55
4.2.3 逆過程の断面積	56
4.2.4 運動量移行断面積と輸送係数	57

4.3 補足：相互作用ポテンシャルと断面積の公式	58
4.3.1 相互作用ポテンシャル	58
4.3.2 断面積の公式	60
第 5 章 電子・光と原子・イオン衝突 63	
はじめに	63
5.1 原子・イオンによる光の吸収と散乱	63
5.1.1 電磁波と原子の相互作用	63
5.1.2 振動電磁場（光）中の一電子原子の振る舞い	65
5.1.3 振動電磁場（光）中の多電子原子の振る舞い	74
5.1.4 アインシュタインの係数と光学的振動子強度	79
5.1.5 スペクトル線の形と広がり	81
5.1.6 光イオン化断面積	83
5.1.7 原子による光の散乱	84
5.1.8 光吸収により生成した高励起原子・イオンの後続過程	85
5.1.9 光吸収断面積の例	86
5.2 電子と原子・イオンとの衝突	89
5.2.1 古典的な衝突断面積	90
5.2.2 ポテンシャル散乱と衝突断面積	91
5.2.3 部分波の方法	94
5.2.4 積分形式による記述	96
5.2.5 クーロン散乱	97
5.2.6 低エネルギー散乱	98
5.2.7 高エネルギー散乱	101
5.2.8 標的の内部自由度を考えた取り扱い	102
5.2.9 共鳴散乱	104
5.2.10 電子—イオン衝突	106
5.2.11 電子衝突断面積の例	106
第 6 章 電子・光と分子衝突 109	
はじめに	109
6.1 プラズマ中の衝突・発光機構の様式	109
6.1.1 核融合ダイバータ近傍のプラズマ	109
6.1.2 プロセスプラズマ	110
6.1.3 雷・オーロラ	110
6.2 分子と電磁場の相互作用	112
6.2.1 電磁場内の荷電粒子	112
6.2.2 光の吸収と放出	114
6.2.3 光電離と内殻励起状態と解離	117
6.2.4 電気双極子遷移と選択則	120
6.3 電子と分子の衝突現象	121
6.3.1 衝突断面積	121
6.3.2 電子と分子衝突の簡単な理論的考察	124
6.3.3 電子衝突による分子の励起断面積の実測例	126
6.4 おわりに	131
第 7 章 イオン原子衝突 133	
はじめに	133
7.1 衝突過程	133
7.1.1 各種散乱過程	134
7.1.2 散乱断面積概形	138
7.2 弾性散乱	140
7.3 励起	142
7.4 電離および電子損失	145
7.4.1 ターゲット（標的）電離	146
7.4.2 内殻電離	153
7.4.3 電子損失	154
7.5 電子捕獲と電荷変換	157
7.5.1 電子捕獲	158
7.5.2 電荷変換と平衡化	166
7.6 イオン原子衝突の実験的手法	168
7.6.1 コンデンサー法（ポテンシャル法）	168
7.6.2 電荷質量比分析法、同時計測法	169
7.6.3 平衡法	169
7.6.4 二重微分断面積測定	169
7.6.5 合流ビーム法	170
7.6.6 斜交ビーム法	170
7.6.7 移行エネルギー測定法	171
7.6.8 反跳イオン質量分析法	171

7.6.9 衝突顕微鏡	172
第 8 章 イオン分子衝突	181
はじめに	181
8.1 水素イオンと水素分子の衝突	181
8.1.1 H ⁺ イオンと水素分子の衝突断面積	181
8.1.2 水素分子中の水素原子の電荷状態	183
8.1.3 電荷移行過程における同位体効果	185
8.2 水素分子以外の衝突系における電荷移行過程	187
8.2.1 1 価イオンの電荷移行	187
8.2.2 多価イオンの電荷移行	191
8.2.3 電荷移行過程に対する全断面積の測定法	194
8.3 解離をとまなうイオン分子衝突	202
8.3.1 正イオンと分子の衝突	202
8.3.2 負イオンと分子の衝突	206
第 9 章 化学反応速度論と衝突輻射モデル	211
はじめに	211
9.1 原子の速度方程式	212
9.1.1 原子の衝突輻射モデル	212
9.1.2 基底状態の密度	215
9.1.3 電離平衡	216
9.1.4 電離進行プラズマと再結合プラズマ	217
9.2 分子の速度方程式	223
9.2.1 分子の化学反応速度方程式	223
9.2.2 分子の衝突輻射モデル	225
第 10 章 輻射輸送	231
はじめに	231
10.1 物質の状態モデル	231
10.2 放射・吸収係数	233
10.3 輻射輸送方程式	238
10.4 スペクトルの平均化	241
10.4.1 Gray (灰色) 近似	241
10.4.2 多群近似	242
10.4.3 line-by-line 法	242
10.5 数値解析手法	243
10.5.1 光線追跡法	243
10.5.2 モーメント方程式による解法	245
10.5.3 モンテカルロ法	248
10.5.4 離散座標法 (Discrete Ordinate) : S _N 法	250
10.6 流れ場との結合 (Coupling)	251
10.6.1 基礎式	251
10.6.2 計算例	252
11.4 超高層大気 of 発光現象～オーロラ・大気光	263
11.5 大気分子からの赤外放射	267
11.6 電離圏プラズマの運動	268
11.7 超高層大気中の拡散現象	272
11.8 超高層大気 of 公開データについて	274

第 2 部 応用編

第 11 章 超高層大気	257
はじめに	257
11.1 電離圏プラズマの概要	258
11.2 太陽紫外線・X 線による光電離・解離	259
11.3 オーロラ降下粒子による電離・解離	261

第 12 章 宇宙プラズマ	279
はじめに	279
12.1 X 線天文学	279
12.1.1 X 線天文学の波長帯	279
12.1.2 X 線を放射する天体	279
12.2 衝突電離プラズマ	281
12.2.1 衝突電離プラズマ中での電離・再結合の素過程	281
12.2.2 コロナプラズマ	281
12.2.3 原子の電離分布	283
12.2.4 輝線放射	283
12.2.5 プラズマモデルとその利用	286
12.2.6 銀河団プラズマ	287
12.2.7 コンパクト天体におけるプラズマ密度の測定	289
12.2.8 超新星残骸からのレアメタルの発見	290
12.3 X 線天文学関連のデータベース	291
12.3.1 Physics Reference Data	291
12.3.2 X-Ray Interactions with Matter	292
12.3.3 ATOMDB	292
12.3.4 X-Ray Data Booklet	292
12.3.5 Atomic Data for Astrophysics	292
12.3.6 SPEX	292
12.3.7 XSTAR	293
第 13 章 核融合プラズマ	295
はじめに	295
13.1 プラズマ分光計測	295
13.1.1 スペクトル解析	295
13.1.2 炭素イオンの衝突輻射モデル	296
13.1.3 原子データ	298
13.1.4 分光計測解析	299
13.2 荷電交換分光	302
13.2.1 荷電交換分光の原理	302
13.2.2 スペクトル微細構造 (C VI $n=8-7$ 遷移)	304
13.2.3 スペクトル微細構造の強度・平均波長への影響	306
13.2.4 輻射断面積エネルギー依存性による見かけ上のプラズマ速度	308
13.2.5 その他の荷電交換分光における原子過程の影響	309
13.3 周辺プラズマモデリング	309
13.3.1 周辺プラズマとそのモデリング	309
13.3.2 水素原子・分子に関するデータベース	310
13.3.3 不純物に関するデータベース	314
13.4 おわりに	315
第 14 章 レーザー生成プラズマ	319
はじめに	319
14.1 レーザー生成プラズマ中の原子過程	320
14.2 水素様近似と平均原子モデル	321
14.3 詳細原子モデル	323
14.3.1 EUV 光源用 Sn プラズマの詳細原子モデル	323
14.3.2 レーザー生成プラズマの原子分子データベース	323
14.3.3 Sn プラズマの原子モデルの構築例	325
14.4 レーザー生成プラズマにおける原子分子データベースの検証	326
14.5 EUV 光源の輻射流体モデリング	329
第 15 章 プロセスプラズマ	333
はじめに	333
15.1 プロセスプラズマでの重要な反応過程	333
15.2 CVD でのプラズマ反応	334
15.3 エッチングでのプラズマ反応	336
15.4 反応データベース	338

15.4.1 データベースの検索	338	15.4.5 中性粒子同士の衝突～遷移状態理論	341
15.4.2 イオン化断面積の理論式	338	15.4.6 量子化学計算用市販ソフト	344
15.4.3 許容遷移の励起断面積の理論式	339	15.4.7 断面積計算およびプラズマ計算ソフト	344
15.4.4 禁制遷移の励起断面積の理論式	339	15.4.8 プラズマ計算例	345
15.4.4 イオン-中性粒子の衝突	340		
15.4.4 イオン-イオン再結合	340		
第 16 章 環境プラズマ	349		
はじめに	349	16.2.2 熱プラズマ廃棄物処理の原理	359
16.1 大気汚染物質の低温プラズマ環境技術	349	16.2.3 酸化処理	360
16.1.1 序論	349	16.2.4 還元処理	361
16.1.2 プラズマ法と既存の技術	350	16.3 プラズマによる水処理	362
16.1.3 酸性化ガスのプラズマ処理	352	16.3.1 序論	362
16.1.4 VOCs のプラズマ処理	354	16.3.2 遠隔プラズマ法	363
16.1.5 プラズマ排ガス処理装置	354	16.3.3 間接プラズマ法	364
16.2 熱プラズマによる廃棄物処理技術	358	16.3.4 水中パルス放電プラズマによる水処理法	364
16.2.1 序論	358	16.4 おわりに	366
第 17 章 データベース概論	369		
はじめに	369	17.2.7 光と原子・分子の衝突	380
17.1 文献データベース	369	17.2.8 中性原子・分子の衝突	381
17.2 数値データベース	371	17.3 オンライン計算サイト	382
17.2.1 原子の構造とスペクトル	371	17.4 原子分子データとコードのパッケージ	385
17.2.2 分子の構造とスペクトル	373	17.5 原子分子データの計算コード	386
17.2.3 電子と原子・イオンの衝突	374	17.6 その他の関連するサイト	388
17.2.4 電子と分子の衝突	376	17.7 おわりに	388
17.2.5 イオン・原子衝突	377		
17.2.6 イオン・分子衝突	378		
索引	391		