

目 次

1. 原子・分子とレーザーの相互作用	1
1.1 電場内の原子	1
1.2 レーザーと原子・分子の相互作用に関する理論	2
1.2.1 摂動論	2
1.2.2 断熱状態理論	6
1.2.3 Floquet 理論	7
1.3 強レーザー場によって誘起される束縛状態のダイナミクス	13
1.3.1 Stark シフト	13
1.3.2 AC Stark シフト	15
1.3.3 共鳴相互作用：Rabi のモデル	15
1.3.4 ドレスト状態	17
1.3.5 束縛状態のダイナミクス	26
2. 強光子場における原子のイオン化	31
2.1 多光子イオン化と超閾イオン化	31
2.1.1 多光子イオン化と最低次摂動論	31
2.1.2 ナノ秒レーザー場における超閾イオン化	37
2.1.3 フェムト秒レーザー場における超閾イオン化	38
2.2 トンネルイオン化	41
2.2.1 トンネルイオン化	41
2.2.2 イオン化収量と ADK 理論	43
2.2.3 初期運動量分布, トンネルイオン化時間	47
2.3 強レーザー場近似によるイオン化の記述	48
2.3.1 レーザー場中の自由電子の量子論的扱い	48
2.3.2 強レーザー場近似	52
2.4 分子のイオン化への拡張	56
2.4.1 イオン化抑制と MO-SFA	56
2.4.2 MO-ADK	57

3. 強光子場における分子のイオン化と解離	60
3.1 強光子場による分子の変形とイオン化	60
3.1.1 増強イオン化	60
3.1.2 多価イオン化と Coulomb 爆発過程	62
3.1.3 レーザー場による分子の構造変形	67
3.2 単一イオン種の強光子場誘起イオン化と反応	71
3.2.1 タンデム質量分析法によるアプローチ	71
3.2.2 イオントラップ法によるアプローチ	80
3.3 電子状態と解離過程の相関	87
3.3.1 光電子とイオンの同時計測	87
3.4 超高速水素マイグレーション	95
3.4.1 水素マイグレーション	95
3.4.2 メチルアセチレンにおける水素スクランプリング	109
3.4.3 H_3^+ の放出	110
3.5 ポンプ・プローブ法による超高速反応追跡	119
3.5.1 ポンプ・プローブ法	119
3.6 超高速過程のポンプ・プローブ計測による高分解能分光	125
3.6.1 CH_3OH のポンプ・プローブ計測	125
3.6.2 近赤外高強度数サイクルレーザーパルスを用いた D_2^+ の強レーザー場 Fourier 変換分光	126
3.6.3 Ar^+ のスピン軌道分裂の SURF 分光	128
4. 強光子場における分子のアラインメント	133
4.1 分子アラインメントと分子オリエンテーション	133
4.2 断熱アラインメントと非断熱アラインメント	136
4.2.1 断熱アラインメント	136
4.2.2 非断熱アラインメント	146
4.2.3 オリエンテーション	158
4.3 直線分子と非直線分子	173
4.4 分子アラインメントによる分子イオン化過程の制御	188
4.5 分子による高次高調波の発生と分子軌道	190
4.6 回転波束の時間発展	199
4.7 回転波束の Fourier 分光	200
4.8 柔らかい分子のアラインメント制御	202
5. 強光子場における分子制御	206
5.1 光パルスの強度と波長、時間幅を用いた化学結合の選択的解離	206

5.1.1 光パルスの最適化の試み	206
5.1.2 多重イオン化による解離過程	214
5.2 光パルスの位相を用いた化学結合の選択的解離	219
5.2.1 搬送波包絡線位相	219
5.2.2 2色位相差	235
5.3 時間依存多配置多電子ダイナミクス	239
5.3.1 多配置波動関数	239
5.3.2 時間依存多配置法	244
5.3.3 時間依存多配置法の原理検証計算	248
5.3.4 グリッド法を用いた基底関数の表現法	250
5.3.5 MCTDHF 法の計算コストの低減	253
5.3.6 MCTDHF 法の分子ダイナミクスの計算への応用	254
6. 原子のイオン化と再衝突およびアト秒パルス発生	262
6.1 トンネルイオン化電子の再衝突	262
6.1.1 レーザー場中の自由電子の古典論的扱い	262
6.1.2 高次超閾イオン化	269
6.1.3 高次高調波発生と 3 ステップモデル	272
6.1.4 (再衝突による) 電子励起と非段階的二重イオン化	276
6.1.5 Coulomb 集束	280
6.1.6 フラストレーテッドトンネルイオン化	282
6.1.7 強レーザー場近似の拡張	284
6.2 高次高調波発生の実際	288
6.3 高強度高次高調波を用いた非線形過程の観測	291
6.4 アト秒パルスの発生	293
6.5 単一アト秒パルスの発生のための基盤技術	293
6.5.1 高強度数サイクルパルス発生	293
6.5.2 搬送波包絡線位相の制御	295
6.6 単一アト秒パルスの発生の実際	299
6.7 円偏光高次高調波の発生	303
6.8 アト秒パルスのキャラクタリゼーション	306
6.8.1 アト秒パルス列のキャラクタリゼーション	307
6.8.2 希ガス原子への高次高調波照射による状態選択的 2 光子二重イオン化過程	311
6.8.3 単一アト秒パルスのキャラクタリゼーション	313
6.9 アト秒時間領域の原子および分子ダイナミクス	315
6.9.1 アト秒光源を利用しないアト秒分光法	315

6.9.2	アト秒パルス列を用いるアト秒分光法	320
6.9.3	単一アト秒パルスを用いるアト秒分光法	322
6.9.4	高強度アト秒パルスを利用したアト秒分光法	326
7.	強光子場における電子散乱と電子回折	347
7.1	回折法による超高速イメージング手法	347
7.1.1	時間分解気体電子回折法による分子ダイナミクスの追跡	347
7.1.2	超高速電子回折の例	348
7.2	レーザーアシステッド電子散乱 (LAES)	354
7.2.1	理 論	354
7.2.2	実 験 例	373
7.2.3	分子イメージングへの適用例	376
7.3	光の中の電子線散乱: LAES, LAIES, LAEII	378
7.3.1	LAES: 光ドレスト効果の探求, 非摂動論的 LAES	378
7.3.2	LAIES: レーザーアシステッド非弾性電子散乱	379
7.3.3	LAEII: レーザーアシステッド電子衝撃イオン化	390
8.	極端紫外領域の強光子場科学—高次高調波と自由電子レーザーによる展開—	413
8.1	高強度 XUV 光の出現と原子・分子との相互作用	413
8.2	高輝度極端紫外光の集光システムと微細レーザー加工への展開	415
8.2.1	高次高調波光源の微細集光	415
8.2.2	サブミクロン集光を実現するための実験装置	417
8.2.3	高次高調波による微細加工	418
8.3	高輝度 XUV-FEL 光を用いた原子・分子の非線形光学過程	419
8.3.1	Ar の多光子多重イオン化	419
8.3.2	N ₂ の多光子吸収に伴う多重イオン化と解離過程	420
8.3.3	メタノールのイオン化に伴う分子内水素マイグレーションと解離 反応	421
8.3.4	エタノールの二重イオン化と解離過程	423
8.3.5	SCSS 試験加速器の FEL 光を用いた He の 2 光子イオン化断面積の 測定	424
8.4	フェムト秒レーザーと SCSS XUV-FEL 光源によるポンプ・プローブ 計測	427
8.4.1	フェムト秒レーザーシステムと SCSS XUV-FEL 光源との同期シス テム	427
8.4.2	ポンプ・プローブによる N ₂ の解離性イオン化過程	427

8.5	高次高調波シード型極端紫外域 FEL の開発	429
8.5.1	フルコヒーレント FEL 光源開発の必要性	429
8.5.2	SCSS 試験加速器におけるシード型 XUV-FEL	430
8.6	XFEL による気相試料の X 線回折計測	432
8.6.1	気体 X 線回折による分子構造	432
8.6.2	XFEL 用 X 線回折装置	432
8.6.3	X 線回折像の計測と解析	433
8.6.4	ポンプ・プローブ計測	435
索 引		443