

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	7
Глава 1. Введение. История и современное развитие исследований светового давления . . . . .	9
§ 1.1. Ранние исследования светового давления . . . . .	10
§ 1.2. Исследования давления лазерного излучения . . . . .	13
1.2.1. Световое давление на макроскопические частицы (13).	
1.2.2. Резонансное световое давление на атомные частицы (14).	
1.2.3. Радиационное охлаждение атомных частиц (16).	
1.2.4. Проблема локализации атомов в световом поле (17).	
§ 1.3. Теоретические исследования движения атомных частиц в резонансных световых полях . . . . .	19
Часть I	
<b>ОСНОВЫ ТЕОРИИ РЕЗОНАНСНОГО СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ</b>	21
Глава 2. Влияние фотонной отдачи на движение атома . . . . .	21
§ 2.1. Эффект отдачи при поглощении (испускании) фотона . . . . .	21
2.1.1. Обмен импульсом между атомом и световым полем (21).	
2.1.2. Обмен энергией (22).	
2.1.3. Пример атома натрия (23).	
§ 2.2. Флуктуации и дрейф атомного импульса при многократном переизлучении фотонов . . . . .	24
§ 2.3. Сила светового давления . . . . .	26
2.3.1. Условия классичности движения атома в резонансном световом поле (27).	
2.3.2. Упрощенное определение силы светового давления на атом (29).	
§ 2.4. Элементарное рассмотрение импульсной диффузии . . . . .	31
2.4.1. Флуктуационные процессы (31).	
2.4.2. Тензор импульсной диффузии (33).	
§ 2.5. Рассеяние резонансного излучения движущимся атомом . . . . .	35
Глава 3. Радиационная сила в резонансном световом поле . . . . .	37
§ 3.1. Квантомеханический аналог радиационной силы . . . . .	38
3.1.1. Теорема Эренфеста (38).	
3.1.2. Координатное, импульсное и вигнеровское представления (40).	
§ 3.2. Основные соотношения для радиационной силы . . . . .	44
3.2.1. Переход к классическому движению атома (45).	
3.2.2. Усредненная радиационная сила (46).	
3.2.3. Основные ограничения (48).	
3.2.4. Расчет усредненной силы на основе вигнеровской матрицы плотности (49).	
§ 3.3. Усредненная сила в пространственно-неоднородном световом поле . . . . .	50
§ 3.4. Усредненная сила для двухуровневого атома . . . . .	53
§ 3.5. Усредненная сила для многоуровневого атома . . . . .	55

Глава 4. Усредненная сила для двухуровневого атома в поле монохроматического излучения . . . . .	58
§ 4.1. Плоская бегущая волна . . . . .	59
§ 4.2. Встречные плоские волны . . . . .	61
4.2.1. Общие соотношения для силы светового давления (61).	
4.2.2. Решение рекуррентной системы уравнений (63).	
4.2.3. Многорезонансная структура силы светового давления (64).	
4.2.4. Приближение скоростных уравнений (68).	
§ 4.3. Бегущая волна с гауссовским распределением интенсивности . . . . .	70
§ 4.4. Встречные волны с гауссовским распределением интенсивности . . . . .	71
Глава 5. Эволюция атомного ансамбля в резонансном световом поле . . . . .	73
§ 5.1. Монохроматизация атомных скоростей в бегущей волне . . . . .	74
5.1.1. Деформация скоростного распределения под действием силы светового давления (74).	
5.1.2. Уширение скоростного распределения за счет диффузии. Минимальная ширина (76).	
§ 5.2. Фокусировка (дефокусировка) атомов в световом луче . . . . .	80
5.2.1. Влияние градиентной силы на поперечное движение атомов (80).	
5.2.2. Эволюция поперечного распределения атомов (82).	
§ 5.3. Радиационное охлаждение атомов во встречных волнах . . . . .	85
5.3.1. Сужение скоростного распределения (85).	
5.3.2. Стационарное скоростное распределение (87).	
§ 5.4. Радиационное охлаждение локализованных атомных частиц . . . . .	89
5.4.1. Низкочастотные колебания (90).	
5.4.2. Высокочастотные колебания (92).	
Часть II	
<b>ДВИЖЕНИЕ АТОМНЫХ ЧАСТИЦ В РЕЗОНАНСНЫХ СВЕТОВЫХ ПОЛЯХ</b> . . . . .	94
Глава 6. Микроскопическое и кинетическое описания атомного движения . . . . .	94
§ 6.1. Микроскопические уравнения . . . . .	95
6.1.1. Уравнения для атомной матрицы плотности в представлении Вигнера (95).	
6.1.2. Два типа эволюции атомной матрицы плотности (98).	
§ 6.2. Кинетическое уравнение . . . . .	102
6.2.1. Метод Боголюбова (102).	
6.2.2. Нулевое приближение. Уравнение сохранения фазовой плотности (105).	
6.2.3. Первое приближение. Уравнение Лиувилля (106).	
6.2.4. Второе и высшие приближения. Уравнение Фоккера — Планка (107).	
§ 6.3. Кинетическое уравнение в случае пространственно-неоднородных волн . . . . .	108
Глава 7. Движение атомов в бегущей световой волне . . . . .	110
§ 7.1. Кинетическое уравнение для атомов в плоской волне . . . . .	110
7.1.1. Приближения нулевого, первого и второго порядков по импульсу фотона (111).	
7.1.2. Приближение третьего порядка (114).	
§ 7.2. Кинетическое уравнение для атомов в лазерном луче . . . . .	115
7.2.1. Гауссовский световой луч (115).	
7.2.2. Световой луч с конечной шириной спектра (118).	
§ 7.3. Асимптотическое скоростное распределение . . . . .	120
7.3.1. Форма скоростного распределения (121).	
7.3.2. Вклад членов третьего порядка по импульсу фотона (124).	

§ 7.4. Замедление и скоростная монохроматизация атомных пучков . . . . .	125
7.4.1. Параметры процесса замедления (125). 7.4.2. Экспериментальные исследования (127).	
<b>Глава 8. Движение атомов во встречных световых волнах . . . . .</b>	<b>129</b>
§ 8.1. Кинетическое уравнение для атомов в плоских встречных волнах . . . . .	130
8.1.1. Уравнение Лиувилля (131). 8.1.2. Анализ рекуррентной системы уравнений (132). 8.1.3. Уравнение Фоккера — Плана (134). 8.1.4. Приближение скоростных уравнений (136).	
§ 8.2. Рассеяние атомов на стоячей волне . . . . .	137
§ 8.3. Асимптотическое скоростное распределение . . . . .	140
§ 8.4. Симметричные пространственно-неоднородные световые поля . . . . .	142
8.4.1. Аксиально-симметричное поле (142). 8.4.2. Центральное-симметричное поле (144).	
§ 8.5. Радиационная коллимация атомных пучков . . . . .	147
§ 8.6. Радиационное сжатие атомных пучков . . . . .	149
<b>Глава 9. Трехуровневые атомы в поле двухчастотного излучения</b>	<b>155</b>
§ 9.1. Качественный анализ эффекта атомной когерентности	157
§ 9.2. Микроскопические уравнения для трехуровневого атома	158
§ 9.3. Кинетическое уравнение . . . . .	160
§ 9.4. Радиационная сила и тензор диффузии при резонансе атомов с излучением . . . . .	163
<b>Глава 10. Когерентное движение атомов . . . . .</b>	<b>166</b>
§ 10.1. Дифракция волнового пакета атома на бегущей волне	167
10.1.1. Амплитуды вероятностей и волновая функция атома (168). 10.1.2. Эволюция атомного волнового пакета (170).	
§ 10.2. Стационарные состояния атома в стоячей волне . . . . .	171
10.2.1. Стационарные уравнения движения (172). 10.2.2. Собственные состояния трансляционного движения атома (172). 10.2.3. Энергетический спектр и законы дисперсии (174). 10.2.4. Случай точного резонанса (176).	
§ 10.3. Дифракция атомов на стоячей волне . . . . .	178
10.3.1. Аналитическое решение для амплитуд вероятностей (178). 10.3.2. Плотность импульсного распределения (179).	
<b>Глава 11. Локализованные атомные ионы в поле лазерного излучения . . . . .</b>	<b>181</b>
§ 11.1. Локализация ионов . . . . .	182
11.1.1. Ловушка Пеннинга (182). 11.1.2. Радиочастотная квадрупольная ловушка (183).	
§ 11.2. Уравнения движения локализованного иона в поле лазерного излучения . . . . .	185
11.2.1. Микроскопические уравнения (185). 11.2.2. Кинетическое уравнение (186).	
§ 11.3. Теория радиационного охлаждения ионов . . . . .	188
11.3.1. Первоначальный этап охлаждения (189). 11.3.2. Приближение к стационарному режиму (190).	
§ 11.4. Основные эксперименты . . . . .	192
11.4.1. Охлаждение ионов MgII (192). 11.4.2. Охлаждение ионов BaII (193).	

Глава 12. Некоторые применения холодных атомов и ионов . . . . .	195
§ 12.1. Микроволновые стандарты частоты . . . . .	196
12.1.1. Квантовые стандарты частоты на пучках медленных атомов (196). 12.1.2. Квантовые стандарты частоты на холодных локализованных ионах (198).	
§ 12.2. Накопление и хранение холодных атомов в магнитных ловушках . . . . .	199
12.2.1. Хранение видов в тороидальной магнитной ловушке (200). 12.2.2. Инжекция атомов в ловушку (202).	
§ 12.3. Оптические стандарты частоты . . . . .	203
12.3.1. Квантовые стандарты частоты на холодных локализованных атомах (204). 12.3.2. Квантовые стандарты частоты на холодных локализованных ионах (206).	
§ 12.4. Эксперименты с единичными атомами . . . . .	207
§ 12.5. Заключение . . . . .	208
Приложение. Радиационная сила в поле двух плоских волн	211
Список литературы . . . . .	217