

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	8
Список литературы . . . . .	11
<b>Глава 1. Плазма как объект спектроскопии. Общие понятия . . . . .</b>	<b>13</b>
1.1. Понятие низкотемпературной плазмы, задачи диагностики . . . . .	13
1.2. Равновесная плазма . . . . .	17
1.2.1. Распределения частиц по энергиям (18). 1.2.2. Закон действующих масс, плотности нейтральных и заряженных частиц (19). 1.2.3. Тепловое излучение, закон Кирхгофа (23).	
1.3. Модели равновесия и связанные с ними параметры . . . . .	25
1.3.1. Локальное термическое равновесие (ЛТР) (26). 1.3.2. Частичное локальное термическое равновесие (ЧЛТР) (28). 1.3.3. Корональная модель (МКР) (31). 1.3.4. Столкновительно-радиационная модель (СРМ) (32).	
1.4. Оптический спектр и плазменные параметры . . . . .	33
Список литературы . . . . .	36
<b>Глава 2. Основные понятия и параметры, связанные с описанием излучения, поглощения и рассеяния света плазмой . . . . .</b>	<b>38</b>
2.1. Фотометрические величины, замечания по терминологии . . . . .	38
2.2. Контур спектральной линии . . . . .	42
2.2.1. Лоренцево уширение (43). 2.2.2. Доплеровское уширение (49). 2.2.3. Совместное действие естественного, доплеровского и столкновительного уширения (52).	
2.3. Поглощение в линиях . . . . .	53
2.4. Излучение в линиях, проявления оптической плотности . . . . .	57
2.5. Излучение и поглощение в сплошном спектре . . . . .	60
2.5.1. Тормозное <i>ff</i> -излучение (61). 2.5.2. Тормозное <i>ff</i> -поглощение (63). 2.5.3. Рекомбинационное <i>fb</i> -излучение (64). 2.5.4. Сечение поглощения при <i>bf</i> -фотоионизации (66). 2.5.5. Излучение и поглощение при совместном действии тормозного <i>ff</i> - и рекомбинационного <i>fb</i> -механизмов (66).	
2.6. Рассеяние света . . . . .	68
2.6.1. Томсоновское рассеяние на свободном электроны [22] (69). 2.6.2. Рассеяние на связанном электроны (71).	
Список литературы . . . . .	71
<b>Глава 3. Методы излучения, поглощения и рассеяния для определения плотностей частиц в дискретных энергетических состояниях . . . . .</b>	<b>74</b>
3.1. Эмиссионные методы . . . . .	74
3.1.1. Идентификация спектров (74). 3.1.2. Абсолютные измерения (75). 3.1.3. Излучение протяженных неоднородных источников (78).	

3.2. Методы поглощения с использованием классических излучателей . . . . .	80
3.2.1. Поглощение на фоне сплошного спектра (80). 3.2.2. Линейчатое поглощение (83). 3.2.3. Самопоглощение мультиплетных линий (88).	
3.3. Спектроскопия поглощения с частотно-перестраиваемыми и широкополосными лазерами . . . . .	89
3.3.1. О преимуществах лазерных источников перед классическими в прямых измерениях поглощения (90). 3.3.2. Об ограничении чувствительности шумами (90). 3.3.3. Дiodная лазерная спектроскопия в ИК диапазоне (92). 3.3.4. Нестационарные когерентные эффекты при регистрации поглощения (97). 3.3.5. Использование классических многопроходных кювет (100). 3.3.6. Поглощение внутри лазерного резонатора (100). 3.3.7. Измерения поглощения по затуханию света во времени (103).	
3.4. Непрямые методы регистрации поглощения лазерного света . . .	107
3.4.1. Индуцированная флуоресценция (108). 3.4.2. Оптико-гальваническая спектроскопия (122).	
3.5. Многофотонные процессы, комбинационное рассеяние . . . . .	128
3.5.1. Двухфотонное поглощение (128). 3.5.2. Спонтанное комбинационное рассеяние (134). 3.5.3. Вынужденное комбинационное рассеяние (135). 3.5.4. Когерентное антистоксово рассеяние (137).	
Список литературы . . . . .	142
<b>Глава 4. Интенсивности в спектрах и распределение энергии плазмы во внутренних и поступательных степенях свободы атомов и молекул . . . . .</b>	<b>147</b>
4.1. Доплеровское уширение, распределение частиц по скоростям, температура нейтрального газа . . . . .	147
4.1.1. Замечания по обработке контура (148). 4.1.2. Примеры аномального доплеровского уширения и неравновесных распределений нейтральных частиц по скоростям в плазме (150). 4.1.3. Возбуждение и релаксация атомов и молекул с неравновесной скоростью при взаимодействиях с тяжелыми частицами (152). 4.1.4. Об измерении температуры газа по доплеровскому уширению линий атомов и молекул, возбуждаемых электронами (158). 4.1.5. Спектроскопические проявления движения ионов в плазме (161).	
4.2. Распределения молекул по вращательным уровням . . . . .	163
4.2.1. О выделении бoльцмановских ансамблей в системе связанных состояний частиц (163). 4.2.2. Распределения молекул по вращательным уровням в электронном состоянии с большим временем жизни (166). 4.2.3. Возбуждение электронно-колебательно-вращательных (ЭКВ) уровней молекул электронным ударом (168). 4.2.4. Возбуждение ЭКВ уровней тяжелыми частицами (175). 4.2.5. Об измерении газовой температуры при наличии параллельных каналов возбуждения вращений молекул (178).	
4.3. Интенсивности в колебательной структуре спектров и распределения молекул по колебательным уровням . . . . .	183

4.3.1. Элементы колебательной кинетики, энергия и температура колебаний (183). 4.3.2. Измерения колебательных температур и распределений методами спектроскопии поглощения (190). 4.3.3. Эмиссионные методы в ИК области (196). 4.3.4. Комбинации методов излучения и поглощения, обращение спектра (201). 4.3.5. Комбинационное рассеяние (205). 4.3.6. Измерения колебательных температур молекул в основных электронных состояниях по спектрам электронных переходов (208).	
4.4. Распределение частиц по электронным уровням . . . . .	212
Список литературы . . . . .	216
<b>Глава 5. Измерение концентраций атомов и молекул . . . . .</b>	<b>224</b>
5.1. Общие замечания . . . . .	224
5.2. Определение концентраций атомов методами поглощения . . . . .	226
5.2.1. Нейтральные невозбужденные атомы (226). 5.2.2. Метастабильные атомы (238). 5.2.3. Положительные ионы малой кратности (251).	
5.3. Определение концентраций молекул методом поглощения . . . . .	251
5.3.1. Вероятности оптических переходов двухатомных молекул (251). 5.3.2. Измерение концентраций двухатомных молекул по поглощению на линиях электронного спектра (256). 5.3.3. Измерения по поглощению в колебательно-вращательных спектрах (262). 5.3.4. Поглощение двухатомных молекул в метастабильных электронных состояниях (265). 5.3.6. Поглощение молекулярными ионами (267).	
5.4. Акцинометрические методы . . . . .	269
5.5. Отрицательные ионы . . . . .	278
5.5.1. Измерение концентраций (279). 5.5.2. Поглощение света ионами $H^-$ в водородной ЛТР плазме (282).	
Список литературы . . . . .	284
<b>Глава 6. Спектральные методы определения электрических и магнитных полей в плазме . . . . .</b>	<b>289</b>
6.1. Измерения электрических полей по спонтанному излучению атомов в плазме . . . . .	293
6.1.1. Водородоподобные атомы (293). 6.1.2. Неводородоподобные атомы (299).	
6.2. Лазерная штарковская спектроскопия . . . . .	302
6.2.1. Штарковская спектроскопия атомов (303). 6.2.2. ЛИФ полярных молекул в электрическом поле (309). 6.2.3. Многофотонное возбуждение атомов (313). 6.2.4. Когерентная штарковская спектроскопия четырехволнового рассеяния (316).	
6.3. Исследования магнитных полей . . . . .	320
6.3.1. Измерения, основанные на эффекте Фарадея (320). 6.3.2. Спектральные методы (321).	
Список литературы . . . . .	323
<b>Глава 7. Определение параметров свободных электронов плазмы . . . . .</b>	<b>328</b>
7.1. Интерферометрия . . . . .	328

7.2. Штарковское уширение спектральных линий . . . . .	332
7.2.1. Общие замечания (332). 7.2.2. Плазменные микрополя (333).	
7.2.3. Линейный эффект Штарка (335). 7.2.4. Квадратичный эффект Штарка (338).	
7.3. Обрыв спектральных серий водородоподобных атомов . . . . .	341
7.4. Интенсивности в непрерывном спектре . . . . .	344
7.5. Рассеяние света на электронах . . . . .	346
7.5.1. Рассеяние на электронах, движущихся случайно (томсоновское рассеяние) (348). 7.5.2. Области проявления томсоновского и коллективного рассеяний (349). 7.5.3. Спектр рассеяния и плазменные параметры (прямая задача) (352). 7.5.4. Определение плазменных параметров по спектрам рассеяния (обратная задача) (353). 7.5.5. Ограничения метода, чувствительность, примеры (357).	
7.6. Измерения интенсивностей в линейчатых и полосатых спектрах	362
Список литературы . . . . .	364
<b>Глава 8. Некоторые сведения из техники спектроскопии . . . . .</b>	<b>367</b>
8.1. Спектральные характеристики оптических материалов, основные соотношения . . . . .	368
8.1.1. Отражение на границе раздела сред (368). 8.1.2. Дисперсия оптических свойств материалов (369). 8.1.3. Пропускание и отражение тонких пленок (370).	
8.2. Спектральные приборы . . . . .	375
8.2.1. Щелевые приборы (375). 8.2.2. Интерферометры (382). 8.2.3. Спектральные приборы с интерференционной модуляцией (392). 8.2.4. Растровые спектрометры (397). 8.2.5. Акустооптические спектрометры (400).	
8.3. Газоразрядные источники света . . . . .	405
8.3.1. Светотехнические величины (405). 8.3.2. Газовые разряды в оболочке (лампы) (406). 8.3.3. Открытые источники (418).	
8.4. Фотоприемники . . . . .	422
8.4.1. Параметры (423). 8.4.2. Основные типы одноэлементных приемников (426). 8.4.3. Многоэлементные и распределенные фотоприемники (434).	
Список литературы . . . . .	443
<b>Приложение 1. Статистические веса и статистические суммы . . . . .</b>	<b>447</b>
Список литературы . . . . .	455
<b>Приложение 2. Преобразования величин, используемых при описании вероятностей оптических переходов в линейчатых спектрах . . . . .</b>	<b>456</b>
Список литературы . . . . .	457
<b>Приложение 3. Сечения двухфотонного поглощения для некоторых атомов и молекул из основных состояний . . . . .</b>	<b>458</b>
Список литературы . . . . .	461

<b>Приложение 4. Сведения о некоторых двухатомных молекулах для идентификации и обработки спектров низкотемпературной плазмы . . . . .</b>	<b>463</b>
П.4.1. Краткие сведения из молекулярной спектроскопии — обозначения состояний и переходов, типы связи, правила отбора, общая структура спектра . . . . .	463
П.4.2. Азот $N_2$ , $N_2^+$ . . . . .	470
П.4.3. Окись углерода $CO$ . . . . .	484
П.4.4. Водород $H_2$ и дейтерий $D_2$ . . . . .	484
П.4.5. Окись азота $NO$ . . . . .	498
П.4.6. Циан $CN$ . . . . .	503
П.4.7. Молекула $C_2$ . . . . .	506
П.4.8. Молекула $CH$ . . . . .	510
П.4.9. Гидроксил $OH$ . . . . .	521
Список литературы . . . . .	531
<b>Приложение 5. Факторы интенсивностей во вращательной структуре электронно-колебательных переходов двухатомных молекул . . . . .</b>	<b>534</b>
П.5.1. Синглетные переходы . . . . .	535
П.5.1.1. Переходы $^1X-^1X$ , $\Delta L = 0$ (535). П.5.1.2. Переходы $^1X-^1Y$ , $\Delta L = \pm 1$ (535).	
П.5.2. Дублетные переходы . . . . .	535
П.5.2.1. Переходы $^2X-^2X$ , $\Delta L = 0$ (536). П.5.2.2. Переходы $^2X-^2Y$ , $\Delta L = \pm 1$ (537).	
П.5.3. Триплетные переходы . . . . .	538
П.5.3.1. Переходы $^3X-^3X$ , $\Delta L = 0$ (538). П.5.3.2. Переходы $^3X-^3Y$ , $\Delta L = \pm 1$ (541). П.5.3.3. Переходы $^3\Sigma-^3\Delta$ , $\Delta L = \pm 2$ (542).	
П.5.4. Нормировка вращательных факторов интенсивности . . . . .	544
П.5.5. О символической записи . . . . .	545
Список литературы . . . . .	546
<b>Приложение 6. Оптические константы материалов . . . . .</b>	<b>547</b>
П.6.1. Пропускание . . . . .	547
П.6.2. Показатели преломления . . . . .	560
П.6.3. Отражение . . . . .	562
Список литературы . . . . .	569
<b>Приложение 7. Измерение абсолютных интенсивностей спектральных линий и континуумов методами классической спектроскопии<sup>1</sup> . . . . .</b>	<b>570</b>
Список литературы . . . . .	585
<b>Приложение 8. Сведения общего характера для задач спектроскопии плазмы . . . . .</b>	<b>586</b>
Список литературы . . . . .	590