

УДК 537.52
ББК 22.365
К68

Королёв Ю.Д.

К68

Элементарные и кинетические процессы в газоразрядной плазме: учебное пособие / Ю.Д. Королёв; Томский политехнический университет – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 128 с.

ISBN

В пособии изложены основные сведения по элементарным процессам, в результате которых происходит возникновение и гибель заряженных и возбужденных частиц в плазме, а также по явлениям переноса в низкотемпературной слабоионизованной плазме (дрейфовое и диффузионное движения). Наряду со сведениями, позволяющими понять физическую сущность разного типа реакций в плазме, приведены также экспериментальные данные по основным сечениям и константам процессов.

Разработано в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Энергосберегающие, базовые специальные и промышленные электроразрядные, радиационные и плазменно-пучковые технологии». Предназначено для обучения магистров кафедры сильноточная электроника по курсам «Физика газового разряда» и «Физика низкотемпературной плазмы». Кроме того, книга полезна и для научных работников, инженеров-исследователей и аспирантов, специализирующихся в области физики газового разряда и его технических применений.

УДК 537.52
ББК 22.365

Рецензенты

Доктор физико-математических наук, профессор ТГУ
А.В. Козырев

Доктор физико-математических наук, профессор ТУСУР
Е.М. Окс

ISBN

© ГОУ ВПО «Томский политехнический университет», 2009
© Королёв Ю.Д., 2009
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

Оглавление

1. Вводные понятия	6
1.1. Элементарные процессы. Закон сохранения энергии для элементарных процессов	6
1.2. Эффективное сечение столкновений при элементарных процессах	9
1.3. Частота столкновений	10
1.4. Средняя длина свободного пробега	12
1.5. Скорости протекания элементарных процессов в плазме Константы скорости процесса	13
1.5.1. Скорость и константа двухчастичного процесса	13
1.5.2. Скорость и константа трехчастичного (тройного) процесса	15
1.6. Принцип детального равновесия	15
1.7. Функция распределения частиц в плазме по скоростям и по энергиям	16
1.7.1. Распределение частиц по скоростям	16
1.7.2. Функция распределения частиц по энергиям	20
1.7.3. Особенности формирования функции распределения электронов по скоростям в газоразрядной плазме	21
2. Упругое взаимодействие электрона с атомами и ионами	25
2.1. Дифференциальное сечение упругих взаимодействий Полное сечение. Транспортное сечение	25
2.2. Упругое столкновение электрона с атомом или молекулой Модель упругих шаров	27
2.3. Упругое столкновение электронов с атомами Эффект Рамзауэра	30
2.4. Движение электрона в сферически симметричном поле (Упругое взаимодействие электрона с ионом)	34
3. Дрейфовое и диффузионное движение заряженных частиц в газоразрядной плазме	37
3.1. Понятие скорости дрейфа и подвижности	37
3.2. Упрощенный вывод зависимости скорости дрейфа от электрического поля. Проводимость слабоионизованной и полностью ионизованной плазмы	38
3.3. Уравнение подвижности для высоких электрических полей	41
3.4. Аномалии в зависимости скорости дрейфа электронов от электрического поля	43
3.5. Эффект непрерывного ускорения электронов в газе	45
3.6. Дрейфовые скорости и подвижности ионов	48

3.7. Диффузионное движение электронов и ионов	49
3.7.1. Диффузия заряженных частиц одного знака	49
3.7.2. Двухполярная (амбиполярная) диффузия	51
4. Ионизация и возбуждение частиц в газоразрядной плазме	53
4.1. Элементарные процессы, вызывающие ионизацию и возбуждение	53
4.2. Ионизация при соударении нейтральных частиц с электронами	55
4.2.1. Сечение и константа ионизации из основного состояния	55
4.2.2. Ступенчатая ионизация	58
4.3. Ионизация при столкновении быстрых тяжелых частиц	60
4.4. Сечение и константа возбуждения атома электронным ударом	63
5. Ионизация и возбуждение в плазме. Разрушение возбужденных состояний	65
5.1. Удары второго рода. Общее определение	65
5.2. Метастабильные и резонансные уровни энергии атомов и молекул	65
5.3. Тушение возбужденных атомов и молекул при соударении с электронами	68
5.4. Тушение возбужденных частиц при соударениях с атомами и молекулами	71
5.4.1. Передача возбуждения атому или молекуле	71
5.4.2. Ионизация в сверхупругих столкновениях. Эффект Пеннинга	73
5.5. Перезарядка	75
5.6. Фотоионизация	77
6. Процессы с участием трех частиц Ионно-молекулярные реакции	78
6.1. Общие замечания	78
6.2. Формула Томсона для константы тройного процесса	79
6.3. Конверсия атомарных ионов в молекулярные	80
6.4. Образование возбужденных молекул при тройных соударениях	82
6.5. Процессы, протекающие через образование долгоживущего состояния	83
6.6. Механизмы ионно-молекулярных реакций	86
7. Рекомбинация электронов и ионов в плазме	91
7.1. Виды процессов рекомбинации	91
7.2. Понятие интенсивно рекомбинирующей или переохлажденной плазмы	91
7.3. Радиационная рекомбинация	95
7.4. Рекомбинация через образование автоионизационного состояния	96
7.4.1. Диэлектронная рекомбинация	96

7.4.2. Диссоциативная рекомбинация.....	97
7.5. Тройная рекомбинация электронов и ионов.....	100
8. Отрицательные ионы в низкотемпературной слабоионизованной плазме.....	105
8.1. Энергии сродства атомов и молекул к электрону.....	105
8.2. Виды процессов прилипания электронов к нейтральным частицам и распада отрицательных ионов	106
8.2.1. Терминология.....	106
8.2.2. Радиационное прилипание электрона к атому или молекуле	106
8.2.4. Образование отрицательных ионов при тройных столкновениях с молекулами	109
8.2.5. Прилипание электронов к сложным молекулам	110
8.3. Рекомбинация положительных и отрицательных ионов.....	111
8.4. Распад плазмы при наличии в газе электроотрицательной примеси.....	112
Список литературы	115