

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к русскому переводу	5
Предисловие	7
Глава 1. Прохождение электронов через газы; полное эффективное сечение столкновения, его определение и измерение	9
§ 1. Классификация столкновений	9
§ 2. Понятие об эффективном сечении столкновения	10
1. Исследование полного эффективного сечения столкновения (19). 2. Дифференциальные сечения (13). 3. Замечания по терминологии (13).	
§ 3. Измерение полного сечения столкновения. Метод Рамзауэра	13
§ 4. Экспериментальные данные по полным сечениям рассеяния атомов	15
§ 5. Диффузия электронов в газах	17
1. Эффективное сечение передачи импульса (сечение диффузии) (11). 2. Распределение электронов по скоростям; скорость дрейфа и скорость неупорядоченного движения (20). 3. Средняя энергия и скорость дрейфа (24).	
§ 6. Измерение средней энергии диффузии электронного облака	5
§ 7. Измерение скорости дрейфа	27
1. Метод магнитного отклонения (27). 2. Метод электрического затвора Бредбери — Нилсена (29).	
§ 8. Средние энергии и скорости дрейфа в инертных газах. Сравнение их с данными для одиночных столкновений и с диффузионной теорией	30
Литература	32
Глава 2. Экспериментальный анализ эффективных сечений столкновений электронов с атомами	34
§ 1. Введение	34
§ 2. Электрический метод измерения эффективных сечений ионизации	35
1. Измерение кажущегося полного сечения ионизации (36). 2. Анализ положительного ионного тока (38). 3. Результаты измерений (39). 4. Зависимость эффективного сечения от энергии электронов вблизи порога ионизации (41). 5. Результаты экспериментальных измерений сечения ионизации вблизи потенциала ионизации. Ультраионизационные потенциалы (43).	
§ 3. Ионизация внутренних оболочек атома электронным ударом	44
1. Зависимость эффективного сечения ионизации внутренних оболочек от энергии электронов (44). 2. Абсолютная величина эффективного сечения (47). 3. Экспериментальные результаты (48). 4. Двукратная ионизация внутренних оболочек (49).	
§ 4. Измерения эффективных сечений возбуждения оптическим методом	49
1. Принцип метода (49). 2. Измерение функции оптического возбуждения (51). 3. Результаты измерений эффективных сечений возбуждения (53). 4. Измерение функции возбуждения метастабильных состояний оптическим методом (59). 5. Оценка эффективных сечений возбуждения на основе исследований газовых разрядов (62).	

§ 5. Электрические методы исследования эффективных сечений возбуждения . . .	67
1. Диффузия в газе электронов с энергией, достаточной для неупругих столкновений (67). 2. Измерение эффективных сечений возбуждения методом диффузии (69). 3. Регистрация электрическим методом неупругих столкновений 2-го рода электронов с возбужденными атомами (71). 4. Измерение эффективных сечений возбуждения метастабильных состояний гелия и неона электрическим методом (73).	
§ 6. Поляризация излучения, вызванного электронным ударом	74
1. Измерение поляризации (74). 2. Экспериментальные результаты измерения поляризации (75).	
§ 7. Измерение углового распределения рассеянных электронов	76
1. Типы приборов (77). 2. Приборы для особых условий (79). 3. Результаты измерения угловых распределений рассеянных электронов (80).	
§ 8. Измерение эффективного сечения неупругого рассеяния внутри заданного угла	87
1. Метод отклонения в магнитном поле (88). 2. Результаты измерения неупругого рассеяния в пределах заданного угла (89).	
Л и т е р а т у р а	9
Глава 3. Теоретическое рассмотрение процессов столкновений электронов с атомами	93
§ 1. Краткое содержание проблемы	93
§ 2. Упругое рассеяние	94
1. Рассеяние электронов статическим полем атома (94). 2. Квантовая теория рассеяния силовым центром (95). 3. Применение к вычислению эффективного сечения упругого рассеяния атомами (101). 4. Угловое распределение упруго рассеянных электронов (107). 5. Электронный обмен и упругие столкновения (118).	
§ 3. Неупругие столкновения	119
1. Приближение Борна (119). 2. Эффективные сечения возбуждения и ионизации (121). 3. Электронный обмен при неупругих столкновениях (123). 4. Теоретический предел величины эффективного сечения столкновений (125). 5. Сравнение теоретических значений эффективных сечений с опытными данными; справедливость приближения Борна (126). 6. Физический смысл отклонений от приближения Борна; взаимодействие упругого и неупругого рассеяний (142). 7. Дальнейший обзор имеющихся теоретических данных (145). 8. Относительные вероятности столкновений различных типов (150). 9. Угловое распределение всех неупруго рассеянных электронов (151).	
§ 4. Некоторые вопросы, связанные с упругим и неупругим рассеяниями электронов атомами	152
1. Сдвиг высших уровней щелочных металлов, обусловленных эффектами давления. Его связь с эффективным сечением упругого рассеяния атомов примесей в случае предельно малых скоростей электронов (152). 2. Теоретический предел разрешения электронного микроскопа (156). 3. Влияние неупругих столкновений на распределение скоростей в электронном облаке, диффундирующем в электрическом поле (160).	
Л и т е р а т у р а	161
Глава 4. Столкновения электронов с молекулами	164
§ 1. Дифракция быстрых электронов на молекулах	164
1. Применение к четыреххлористому углероду (166). 2. Экспериментальные методы (168). 3. Анализ дифракционных фотографий (170). 4. Общие замечания относительно метода дифракции электронов (172). 5. Результаты, полученные при помощи метода дифракции электронов (172).	
§ 2. Дифракция электронов на молекулах в диапазоне промежуточных скоростей	172
1. Угловое распределение упруго рассеянных электронов (173). 2. Тонкая структура края полос поглощения рентгеновских лучей в молекулярных газах (174).	
§ 3. Рассеяние медленных электронов молекулами	177
1. Наблюдаемые эффективные сечения (177). 2. Теория рассеяния медленных электронов молекулами (180).	

§ 4. Неупругие столкновения электронов с молекулами. Возбуждение электронных состояний	186
1. Введение. Квантовые состояния двухатомных молекул (186). 2. Электронные переходы в двухатомных молекулах. Принцип Франка — Кондона (189). 3. Образование отрицательных ионов при столкновениях электронов с молекулами (192).	
§ 5. Возбуждение электронных состояний молекулы водорода электронами	196
1. Ожидаемые эффекты (196). 2. Диссоциация на нормальные атомы водорода в результате электронного возбуждения триплетных состояний (199). 3. Возбуждение устойчивых возбужденных состояний H_2 (207). 4. Ионизация молекулы водорода (207). 5. Применение к конструкции протонных источников (210).	
§ 6. Неупругие столкновения электронов с другими молекулами	212
1. Введение (212). 2. Экспериментальные методы и аппаратура (213). 3. Неупругие столкновения электронов с молекулами кислорода (218). 4. Столкновения электронов с молекулами азота (223). 5. Столкновения электронов с молекулами окиси углерода (226). 6. Столкновения электронов с молекулами окиси азота (228). 7. Выводы из экспериментов по изучению столкновений электронов с молекулами O_2 , N_2 , CO и NO (229). 8. Столкновения электронов с молекулами галогидов (229). 9. Столкновения электронов с молекулами других газов и паров (231).	
§ 7. Возбуждение колебательных и вращательных уровней молекул электронным ударом	234
1. Взаимодействие радиоволн (234). 2. Экспериментальные данные, относящиеся к потерям энергии очень медленными электронами (237). 3. Применение полученных результатов к взаимодействию радиоволн (239).	
Литература	240
Глава 5. Вторичная электронная эмиссия под действием электронов и отражение электронов от поверхности	244
§ 1. Введение	244
1. Коэффициент δ вторичной электронной эмиссии (245).	
§ 2. Экспериментальные методы изучения вторичной электронной эмиссии	246
1. Измерение коэффициента δ (246). 2. Измерение энергетического спектра испускаемых электронов (252).	
§ 3. Теория вторичной электронной эмиссии	254
1. Разрешенные энергии и волновые функции электронов в кристалле (254). 2. Теория вторичной эмиссии Фрелиха — Вулдриджа (256). 3. Теория вторичной эмиссии Кадышевича (262).	
§ 4. Обсуждение результатов измерения δ и сравнение их с теорией	264
1. Зависимость коэффициента δ от энергии первичных электронов (264). 2. Зависимость коэффициента δ_{\max} от работы выхода ϕ (266). 3. Зависимость коэффициента δ от состояния поверхности (267). 4. Зависимость коэффициента δ от кристаллической структуры (267). 5. Зависимость коэффициента δ от температуры (268). 6. Зависимость коэффициента δ от угла падения первичных электронов (268). 7. Глубина, на которой образуются вторичные электроны (268). 8. Угловое распределение вторичных электронов (269). 9. Время, требующееся для выхода вторичных электронов (269). 10. Вторичная электронная эмиссия с неметаллических поверхностей (269). 11. Очень высокие кажущиеся значения δ при нанесении на поверхность неметаллических слоев — эффект Молтера (272).	
§ 5. Энергетический спектр испускаемых вторичных электронов	273
§ 6. Отражение электронов от поверхности	275
§ 7. Неупругое рассеяние первичных электронов мишени	277
1. Тонкая структура экспериментальной кривой $\delta(E_p)$ при малой энергии первичных электронов (280).	
§ 8. Вторичная электронная эмиссия под действием электронов с большой энергией и отражение таких электронов от поверхности	281
Литература	282

<i>Глава 6. Электронные столкновения, сопровождающиеся излучением</i>	285
§ 1. Введение	285
§ 2. Радиационный захват электронов	285
1. Вероятность захвата (285). 2. Эффективное сечение радиационного захвата (286). 3. Радиационный захват электронов протонами (287). 4. Радиационный захват электронов нейтральными атомами водорода (288). 5. Радиационный захват электронов более тяжелыми ионами и атомами (290). 6. Проверка точности вычисленных значений эффективных сечений захвата (292).	
§ 3. Излучение при свободно-свободных переходах; тормозное излучение	295
1. Введение; теоретическое рассмотрение (295). 2. Свободно-свободные переходы в поле нейтральных атомов (296). 3. Экспериментальное изучение сплошного спектра рентгеновского излучения (297). 4. Вычисление интенсивности излучения сплошного рентгеновского спектра (301). 5. Результаты экспериментального исследования сплошного спектра рентгеновского излучения (303).	
Литература	311
<i>Глава 7. Столкновения между атомами при газокинетических условиях</i>	313
§ 1. Введение. Классификация возможных видов столкновений	313
§ 2. Общие свойства взаимодействий между атомами	315
§ 3. Упругие столкновения между атомами газа. Общее рассмотрение	317
1. Эффективные сечения рассеяния, вязкости и диффузии (317). 2. Квантовые и классические эффективные сечения для твердых сферических атомов (319). 3. Эффективные сечения для расширенной области взаимодействия (323). 4. Определение закона взаимодействия между атомами из газокинетических столкновений (325).	
§ 4. Данные о взаимодействиях между атомами, полученные из определения вязкости и других свойств	326
1. Взаимодействие между атомами гелия (326). 2. Взаимодействие между атомами других инертных газов (332).	
§ 5. Определение взаимодействия между атомами из экспериментальных данных о полных эффективных сечениях	334
1. Измерение полных эффективных сечений при помощи метода молекулярных пучков (334). 2. Анализ наблюдаемых эффективных сечений. Силы Ван дер Ваальса между атомами щелочных металлов и инертных газов (341).	
§ 6. Подвижность положительных ионов в газах	342
1. Введение (342). 2. Методы измерения подвижности „некомплексных“ положительных ионов (343). 3. Влияние передачи заряда (347). 4. Подвижности ионов в газах с высоким потенциалом ионизации (347). 5. Подвижность ионов в собственном газе (351). 6. Изучение комплексных образований (355). 7. Упругие столкновения метастабильных атомов с атомами газа, находящимися в основном состоянии (357).	
§ 7. Столкновения, сопровождающиеся электронными переходами. Тушение излучения	358
1. Введение (358). 2. Тушение излучения (358).	
§ 8. Столкновения, сопровождающиеся электронными переходами. Сенситивизированная флюоресценция	363
1. Энергетический резонанс (364). 2. Правило сохранения спина — правило Вигнера (366).	
§ 9. Столкновения, сопровождающиеся электронными переходами. Опыты с метастабильными атомами	369
§ 10. Столкновения, сопровождающиеся электронными переходами. Обсуждение и теоретическая интерпретация результатов. Столкновения между атомами	376
1. Резонансный эффект. Почти адиабатические условия (376). 2. Случай точного резонанса. Максимальные эффективные сечения (378). 3. Случай неточного резонанса (380). 4. Выводы (384).	
§ 11. Столкновения, сопровождающиеся электронными переходами. Обсуждение результатов. Столкновения, в которых участвуют молекулы	385

§ 12. Столкновения, сопровождающиеся изменениями колебательной и вращательной энергии	388
1. Предварительные замечания о вероятности колебательных и вращательных переходов при газокинетических столкновениях (388). 2. Дисперсия и поглощение звука ультравысокой частоты (390). 3. Эффект сохранения колебаний в газовой динамике (395). 4. Спектроскопические данные, относящиеся к дезактивации колебательных состояний (399). 5. Данные, полученные из мономолекулярных реакций (401). 6. Теоретическое обсуждение экспериментальных данных о вероятности возбуждения колебаний при столкновении (402). 7. Столкновения, сопровождающиеся изменением вращательного состояния молекулы (405).	
Литература	407
Глава 8. Прохождение пучков моноэнергетических положительных ионов или нейтральных атомов через газы	412
§ 1. Эффекты, наблюдаемые при прохождении пучка моноэнергетических ионов через газ	412
1. Интерпретация экспериментов по определению эффективных сечений ионов по методу Рамзауэра (414). 2. Дополнительные замечания. Система координат, связанная с центром масс, и лабораторная система (415).	
§ 2. Источники моноэнергетических пучков ионов и атомов	416
1. Дуговые источники (416). 2. Безэлектродный разряд (418). 3. Протонные источники гидроокисного типа (418). 4. Термоионные источники (419). 5. Ионные источники с поверхностной ионизацией (419). 6. Источники конденсационного типа (420). 7. Источники быстрых нейтральных частиц (420).	
§ 3. Методы регистрации ионизованных и нейтральных молекул	421
1. Положительные ионы (421). 2. Быстрые нейтральные молекулы (421).	
§ 4. Упругие столкновения	422
1. Вводные замечания (422). 2. Измерение эффективного сечения упругого рассеяния при углах, превосходящих некоторый определенный минимальный угол (424). 3. Измерение углового распределения упругого рассеяния (425). 4. Дифракция положительных ионов на молекулах (427).	
§ 5. Неупругие столкновения. Экспериментальные методы	428
1. Экспериментальные методы определения эффективных сечений перезарядки (428). 2. Методы, применяющиеся для исследования ионизации и возбуждения пучками ионов или атомов (436).	
§ 6. Неупругие столкновения. Описание и обсуждение экспериментальных результатов	440
1. Основные положения (440). 2. Столкновения, в которых участвуют только атомы водорода и гелия (444). 3. Результаты экспериментального исследования процесса перезарядки других атомов (449). 4. Результаты экспериментального исследования ионизации других атомов (454). 5. Результаты экспериментального исследования процесса возбуждения других атомов (458). 6. Ионизация внутренних оболочек в результате столкновений с положительными ионами (463).	
Литература	464
Глава 9. Столкновение положительных ионов и нейтральных атомов с поверхностями	467
§ 1. Введение	467
§ 2. Вторичная электронная эмиссия под действием бомбардировки положительными ионами	468
1. Исторический обзор (468). 2. Экспериментальные методы измерения коэффициента вторичной эмиссии (469). 3. Результаты измерений коэффициента γ (472). 4. Распределение испускаемых электронов по энергиям (477). 5. Заключительные замечания (478).	
§ 3. Нейтрализация положительных ионов при столкновении с поверхностью металла	479

§ 4. Возникновение отрицательных ионов при столкновениях положительных ионов с поверхностью металла	480
1. Экспериментальные методы исследования механизма возникновения отрицательных ионов (481). 2. Выход отрицательных ионов (482). 3. Распределение испускаемых ионов по энергиям (482).	
§ 5. Отражение положительных ионов от поверхностей	83
§ 6. Столкновения метастабильных атомов с поверхностями	486
1. Испускание электронов под действием метастабильных атомов (486). 2. Отражение метастабильных атомов от поверхностей (488).	
§ 7. Теория взаимодействия положительных ионов и метастабильных атомов с поверхностями	489
1. Вводные замечания (489). 2. Энергетические соотношения для резонансных переходов, происходящих вблизи поверхности металла (490). 3. Приближенные оценки вероятностей различных „резонансных“ переходов (492).	
§ 8. Роль взаимодействия положительных ионов с поверхностью катода. Механизм счетчика Гейгера — Мюллера	495
§ 9. Катодное распыление	497
1. Измерение скорости распыления (497). 2. Результаты измерения процесса распыления (501). 3. Теории катодного распыления (505).	
§ 10. Столкновения нейтральных молекул с поверхностями твердых тел при газокинетических условиях	510
1. Зеркальное и диффузное отражение молекул от поверхностей (510). 2. Отражения и диффракция молекулярных пучков от поверхностей кристаллов (512). 3. Неупругие столкновения молекул с поверхностями кристаллов (521).	
Литература	529
<i>Глава 10. Рекомбинация</i>	532
§ 1. Введение	532
1. Коэффициент рекомбинации (533).	
§ 2. Рекомбинация положительных и отрицательных ионов	533
1. Возможные типы процессов (533). 2. Рекомбинация с излучением (533). 3. Взаимная нейтрализация (533). 4. Рекомбинация тройным столкновением. Теоретическое рассмотрение (536). 5. Экспериментальное исследование процесса рекомбинации ионов тройным столкновением (540). 6. Заключительные замечания относительно процесса рекомбинации типа ион — ион (543).	
§ 3. Рекомбинация между положительными ионами и электронами	543
1. Сводка возможных процессов (543). 2. Рекомбинация с излучением (543). 3. Диэлектронная рекомбинация (543). 4. Рекомбинация с диссоциацией (544). 5. Рекомбинация тройным столкновением (546). 6. Эксперименты по изучению рекомбинации в плотной плазме (548).	
§ 4. Рекомбинация в ионосфере Земли	553
Литература	558
Приложение I. Некоторые замечания о новых достижениях	560
Литература	563
Приложение II. Молекулы, исследованные масс-спектрографическим методом	564
Литература	564
Приложение III. Вещества, для которых были получены данные относительно коэффициента вторичной электронной эмиссии при бомбардировке их положительными ионами	566
Литература	567
Приложение IV. Основные физические константы	568

* * *

Г. Месси

Теория рассеяния медленных электронов

§ 1. Введение	573
§ 2. Столкновения электронов с атомами водорода	573
§ 3. Приближение Борна	574
§ 4. Приближение двух состояний. Метод искаженных волн	575
§ 5. Приближение двух состояний. Случай сильной связи	575
§ 6. Учет обмена	576
§ 7. Учет промежуточных состояний	578
§ 8. Область применимости различных методов приближения	579
§ 9. Применение метода искаженных волн	579
1. Столкновения с атомами водорода. Упругое рассеяние (579). 2. Столкновения с атомами водорода. Возбуждения уровня $2s$ (582). 3. Столкновения с атомами водорода. Возбуждение $2p$ -состояний (584). 4. Возможные случаи сильной связи между орбитально-вырожденными состояниями (584). 5. Возбуждение $2s$ -состояния He^+ (584). 6. Столкновения с гелием (585). 7. Столкновения с другими атомами (588).	
§ 10. Вычисления при наличии сильной связи	589
1. Схематическая модель (589). 2. Методы расчета при наличии сильной связи (590). 3. Исследовавшиеся случаи сильной связи (592). 4. Сильная связь при оптически разрешенных переходах (593).	
§ 11. Вычисления с учетом промежуточных состояний	594
§ 12. Выводы	596
Литература	597

Г. Месси и Е. Бархон

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ИОННЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

Редактор Л. В. ГЕССЕН

Художник Б. И. Фомин

Технический редактор М. П. Грибова

Сдано в производство 23/IX 1957 г. Подписано к печати 6 XII 1957 г. Бумага $70 \times 108^{1/16} = 18,9$ бум. л., 51,6 печ. л.
Уч.-изд. л. 49,8. Изд. № 2,3414. Цена 35 р. 85 к. Зак. 949.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИНОСТРАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ,
Москва, Ново-Алексеевская, 52.

Набрано в Первой Образцовой типографии им. А. А. Жданова Московского городского Совнархоза.
Москва, Ж-54, Валовая, 28.

Отпечатано во 2-й тип. Издательства Академии Наук СССР, Москва, Шубинский пер., 10.
Типографский заказ 37.