

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	12
-----------------------	----

Часть I. Мир субатомных частиц

Глава 1. Начальные сведения о субатомных частицах.	13
§ 1.1. Определение субатомных частиц.	13
§ 1.2. Представление о фундаментальных взаимодействиях.	14
§ 1.3. Важнейшие отличительные черты субатомных систем.	14
1.3.1. О внесистемной единице электронвольт и ее производных (14).	
1.3.2. Сравнение свойств атомных и субатомных систем (15).	
1.3.3. О состоянии теории микрочастиц (15). 1.3.4. Роль законов сохранения в субатомной физике (16). 1.3.5. Характерные значения энергий, расстояний и времен жизни в субатомной физике (17).	
Глава 2. Физические характеристики элементарных частиц.	20
§ 2.1. Классификация элементарных частиц.	20
§ 2.2. Дуализм элементарных частиц.	22
§ 2.3. Стабильные элементарные частицы.	23
§ 2.4. Распады элементарных частиц.	23
§ 2.5. Виртуальные переходы и виртуальные частицы.	24
§ 2.6. О «первейших сущностях» вещества.	25
2.6.1. Взаимопревращаемость элементарных частиц (25). 2.6.2. Кварковая модель адронов (27). 2.6.3. Представление о фундаментальных фермионах и калибровочных бозонах (29). 2.6.4. Понятие о микровибраторах—струнах (30).	
Литература к части I	32

Часть II. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом, их источники и методы наблюдения

Глава 3. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом.	33
§ 3.1. Начальные сведения об ионизирующих излучениях и их источниках.	33
§ 3.2. Взаимодействие заряженных частиц с веществом.	34
3.2.1. Особенности взаимодействий заряженных частиц со средой. Оценка энергий, при которых частицы могут считаться релятивистскими (34). 3.2.2. Ионизационные потери энергии тяжелых	

заряженных частиц (35). 3.2.3. Пробеги заряженных частиц (38).	
3.2.4. Кулоновское взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом (41). 3.2.5. Ядерные взаимодействия ядерноактивных частиц (42).	
§ 3.3. Взаимодействие электронов (β -частиц) с веществом	42
3.3.1. Ионизационные потери энергии электронов (42). 3.3.2. Радиационные потери энергии электронов (43). 3.3.3. Характер движения электронов в веществе (45). 3.3.4. Пробеги электронов (46).	
§ 3.4. Взаимодействие гамма-квантов с веществом	47
3.4.1. Классификация видов взаимодействия гамма-излучения с веществом (47). 3.4.2. Фотоэффект (49). 3.4.3. Эффект Комптона (49). 3.4.4. Образование пар (50). 3.4.5. Общий характер взаимодействия γ -квантов со средой (51). 3.4.6. Пробеги γ -квантов (51).	
§ 3.5. Излучение Вавилова-Черенкова и переходное излучение.	53
§ 3.6. Взаимодействие нейтронов с веществом	55
3.6.1. Закон ослабления нейтронного потока в веществе (55). 3.6.2. Характер взаимодействия нейтронов различных энергий с веществом (57). 3.6.3. Рассеяние и замедление нейтронов (62).	
Глава 4. Обзор источников ионизирующих излучений	67
§ 4.1. Классификация источников ионизирующих излучений и представление о «поколениях» генерируемых частиц	67
§ 4.2. Источники радионуклидов естественного и искусственного происхождения	68
4.2.1. Естественные радионуклиды (68). 4.2.2. Искусственные радионуклиды (71).	
§ 4.3. Ядерные реакторы	73
§ 4.4. Космические лучи	75
Глава 5. Ускорители заряженных частиц	77
§ 5.1. Физические принципы работы ускорителей и их классификация	77
§ 5.2. Проблема устойчивого движения ускоряемых частиц.	79
5.2.1. Принцип автофазировки. Слабая фокусировка (79). 5.2.2. Сильная фокусировка (81).	
§ 5.3. Устройство ускорителей различных типов	83
5.3.1. Ускоритель Ван-де-Граафа (83). 5.3.2. Линейный ускоритель со стоячей волной (84). 5.3.3. Линейный ускоритель с бегущей волной (85). 5.3.4. Циклотрон (86). 5.3.5. Мезонные фабрики. Изохронные циклотроны (88). 5.3.6. Синхроциклотрон (фазотрон) (90). 5.3.7. Бетатрон (90). 5.3.8. Микротрон (93). 5.3.9. Синхротрон (94). 5.3.10. Синхрофазотрон (94). 5.3.11. Коллайдеры (95).	
Глава 6. Методы регистрации ионизирующих излучений	97
§ 6.1. Классификация и основные характеристики детекторов ионизирующих излучений.	97
§ 6.2. Газовые ионизационные счетчики	99
6.2.1. Ионизационная камера (99). 6.2.2. Газоразрядные счетчики (102).	

§ 6.3. Сцинтилляционный счетчик	106
§ 6.4. Полупроводниковый счетчик.	111
§ 6.5. Черенковский счетчик и счетчик переходного излучения.	113
§ 6.6. Трековые детекторы	114
6.6.1. Представление о пересыщенном паре и перегретой жидкости (114). 6.6.2. Камера Вильсона (115). 6.6.3. Пузырьковая камера (117). 6.6.4. Искровая камера (119). 6.6.5. Метод ядерных эмульсий. Эмульсионная камера (120). 6.6.6. Диэлектрический детектор (122).	
§ 6.7. Методы регистрации нейтронов	123
6.7.1. Общие представления о методах регистрации нейтронов (123). 6.7.2. Счетчики тепловых и медленных нейтронов (123). 6.7.3. Счетчики быстрых нейтронов (125).	
Литература к части II.	126

Часть III. Экспериментальные и модельные исследования структуры атомных ядер. Свойства ядерных сил

Глава 7. Физические характеристики ядерных систем в стационарных и квазистационарных состояниях.	127
§ 7.1. Вводные представления о статических свойствах ядер и ядерных моделах	127
§ 7.2. Электрический и барионный заряды ядер	129
§ 7.3. Изучение размеров атомных ядер и распределение в их объеме электрического заряда.	129
7.3.1. Понятие радиуса ядра (129). 7.3.2. Методы определения радиусов ядер по данным о рассеянии быстрых электронов (130). 7.3.3. Метод определения радиусов ядер по данным о нейтронном эффективном сечении (131). 7.3.4. Изучение распределения электрического заряда в опытах Хофштандера (133). 7.3.5. Распределение протонов и нейтронов по объему ядра (136).	
§ 7.4. Методы измерения масс атомных ядер	136
7.4.1. Методы, используемые для определения масс микрочастиц (136). 7.4.2. Единица измерения масс нуклидов (138). 7.4.3. Масс-спектрометрический метод (138). 7.4.4. Метод ядерных превращений (141). 7.4.5. Изотопный состав элементов (144).	
§ 7.5. Энергия связи ядер.	146
7.5.1. Энергия связи, дефект массы ядер (146). 7.5.2. Капельная модель ядра. Полуэмпирическая формула Вайцзеккера (146). 7.5.3. Энергия связи как мера устойчивости изобар (150). 7.5.4. Удельная энергия связи (150).	
§ 7.6. Моменты ядер	152
7.6.1. Моменты импульса ядер (152). 7.6.2. Магнитный и квадрупольный моменты ядер (153). 7.6.3. Сравнительный анализ экспериментальных значений ядерных спинов и магнитных моментов (155).	

§ 7.7. Статистика атомных ядер	156
7.7.1. Классическая и квантовая статистика (156). 7.7.2. Статистика и моменты ядер (157).	
§ 7.8. Четность ядер.	158
Глава 8. Оболочечная и обобщенная модели ядер. Элементы ядерной спектроскопии.	161
§ 8.1. Оболочечная модель ядра	161
8.1.1. Доказательства оболочечной структуры ядра (161). 8.1.2. Принципы построения оболочечной модели (162). 8.1.3. Конкретные варианты оболочек (163). 8.1.4. Гиперядра и их использование для изучения оболочечной структуры ядер (169).	
§ 8.2. Обобщенная модель ядра	170
8.2.1. Вводные замечания (170). 8.2.2. Модель ядра деформированной формы (172).	
§ 8.3. Использование представлений оболочечной и обобщенной моделей в ядерной спектроскопии.	175
Глава 9. Ядерные силы	179
§ 9.1. Феноменологическая и мезонная теории ядерных сил	179
§ 9.2. Экспериментальные методы изучения ядерных сил	182
§ 9.3. Изотопический спин.	183
9.3.1. Зарядовая симметрия ядерных сил. Изотопическая инвариантность (183). 9.3.2. Аналоговые состояния (186).	
§ 9.4. Классификация состояний двухнуклонной системы.	187
§ 9.5. Дейтрон.	191
9.5.1. Обзор свойств дейтрона (191). 9.5.2. Нерелятивистская теория дейтрона (192). 9.5.3. Радиус дейтрона (195). 9.5.4. Энергетический спектр дейтрона (195).	
§ 9.6. Элементы теории упругого рассеяния частиц.	196
9.6.1. Лабораторная система координат и система центра инерции (196). 9.6.2. Связь дифференциального сечения с амплитудой волны (198). 9.6.3. Основные формулы теории упругих столкновений (201). 9.6.4. Фазовый анализ в теории рассеяния (202).	
§ 9.7. Рассеяние нуклонов на нуклонах при низкой энергии	203
§ 9.8. Рассеяние нуклонов на нуклонах при высокой энергии	206
§ 9.9. Опыты с поляризованными пучками и мишенями	212
§ 9.10. Обобщение свойств ядерных сил.	214
Литература к части III	216

Часть IV. Ядерные превращения

Глава 10. Важнейшие закономерности радиоактивного распада ядер. . .	217
§ 10.1. Определение радиоактивности. Закон радиоактивного распада и основные величины, характеризующие это явление	217

§ 10.2. Классификация типов радиоактивных ядер. Причины задержки распадов неустойчивых ядер	222
§ 10.3. Состав ядра и радиоактивность.	224
§ 10.4. Радиоактивные ряды.	227
§ 10.5. Изображение схем распада радиоактивных ядер	229
Глава 11. Альфа-распад. Протонный и кластерный распады	231
§ 11.1. Энергия α -распада	231
§ 11.2. Элементы теории α -распада	233
§ 11.3. Элементы α -спектроскопии	239
§ 11.4. Протонный и кластерный распады	242
Глава 12. Бета-распад. Проблема нейтрино	246
§ 12.1. Особенности β -спектров. Энергия β -распада	246
§ 12.2. Могут ли существовать β -частицы в ядрах?	248
§ 12.3. Энергетические условия β -распада и процесс возникновения устойчивых ядер при β -распаде.	249
§ 12.4. Опыты по обнаружению нейтрино. Изучение их свойств	252
12.4.1. О специфических особенностях опытов по изучению нейтрино (252). 12.4.2. Опыты Лейпунского и Аллена (253). 12.4.3. Опыт Рейнеса и Коуэна (254). 12.4.4. Опыт Дэвиса (255). 12.4.5. Двойной β -распад (256). 12.4.6. Поиски солнечных нейтрино (258). 12.4.7. Опыт Спивака (259).	
§ 12.5. Элементы теории β -распада Ферми	259
§ 12.6. Разрешенные и запрещенные переходы	265
§ 12.7. Правила отбора для β -переходов.	266
§ 12.8. Связь между оболочечной структурой ядра и β -распадом	266
§ 12.9. Элементы β -спектроскопии	267
§ 12.10. Проблема несохранения четности в слабых взаимодействиях.	270
12.10.1. Доказательства несохранения четности в слабых взаимодействиях (270). 12.10.2. Комбинированная четность (272). 12.10.3. Нарушение CP -четности (274).	
Глава 13. Гамма-излучение ядер.	276
§ 13.1. Энергия γ -излучения и его некоторые особенности	276
§ 13.2. Элементы теории γ -излучения.	276
§ 13.3. Ядерная изомерия.	279
§ 13.4. Внутренняя конверсия	283
§ 13.5. Корреляционные измерения в ядерной спектроскопии	286
13.5.1. Представление об угловых корреляциях (286). 13.5.2. Методика выполнения корреляционных измерений (287). 13.5.3. Определение моментов возбужденных состояний атомов ядер (288).	
§ 13.6. Эффект Мёссбауэра	289
13.6.1. Резонансное поглощение фотонов атомами и ядрами (289). 13.6.2. Ядерное резонансное поглощение без отдачи (292).	

Глава 14. Ядерные реакции	295
§ 14.1. Механизмы ядерных реакций	295
§ 14.2. Основные характеристики ядерных реакций	296
§ 14.3. Составное ядро.	300
14.3.1. Общие представления о компаунд-ядре (300). 14.3.2. Энергетические уровни составного ядра (305).	
§ 14.4. Модель испарения	306
§ 14.5. Фотоядерные и электроядерные реакции	307
§ 14.6. Оптическая модель	309
§ 14.7. Прямые ядерные реакции	310
§ 14.8. Внутроядерные процессы, идущие под действием частиц высокой энергии	315
Глава 15. Деление атомных ядер. Трансурановые элементы	320
§ 15.1. Деление ядер	320
15.1.1. Открытие деления ядер (320). 15.1.2. Основные закономерности реакции деления (322). 15.1.3. Интерпретация процесса деления на основе капельной модели ядра (326). 15.1.4. Свойства продуктов деления (329). 15.1.5. Механизм испускания запаздывающих нейтронов (330).	
§ 15.2. Трансурановые элементы	331
15.2.1. Об оболочечной структуре делящихся ядер (331). 15.2.2. Методы синтеза трансурановых элементов и некоторые их свойства (336).	
Литература к части IV	340

Часть V. Ядерная энергетика. Ядерное оружие

Глава 16. Вводные сведения о современной ядерной энергетике, базирующейся на использовании делящихся изотопов	341
§ 16.1. Проблемы развития мировой энергетики	341
§ 16.2. Начальные стадии ядерного топливного цикла	343
16.2.1. Разведка, добыча и химическая переработка ядерного сырья (343). 16.2.2. Промышленные методы разделения изотопов урана (346).	
§ 16.3. Цепная реакция деления.	350
Глава 17. Ядерные реакторы	355
§ 17.1. Типы ядерных реакторов и особенности их работы	355
§ 17.2. Критический размер и критическая масса активной зоны. Влияние отражателя.	358
§ 17.3. Негативные явления, возникающие в процессе работы реактора	360
§ 17.4. Ядерные реакторы базовой энергетики России	361
17.4.1. Реактор РБМК (361). 17.4.2. Реактор ВВЭР (361). 17.4.3. Реакторы на быстрых нейтронах (363).	

Глава 18. Термоядерные реакторы	367
§ 18.1. Основные сведения о термоядерном синтезе	367
§ 18.2. Термоядерные реакторы, основанные на магнитном удержании плазмы	369
§ 18.3. Инерционные термоядерные реакторы	372
Глава 19. Ядерное оружие	376
§ 19.1. Предварительные замечания	376
§ 19.2. Ядерные бомбы	376
§ 19.3. Водородные бомбы	377
§ 19.4. Экологические последствия ядерной войны	379
Литература к части V	382

Часть VI. Эволюция вселенной. Процессы образования ядер во взнезменных условиях и в атмосфере Земли

Глава 20. Космология — учение о Вселенной	383
§ 20.1. Структура Вселенной	383
§ 20.2. Представление о космологии. Краткая история ее развития	385
§ 20.3. Теоретические исследования Эйнштейна и Фридмана	386
§ 20.4. Закон Хаббла	389
§ 20.5. Реликтовое излучение	392
§ 20.6. О геометрии Вселенной	393
§ 20.7. Суперсимметрия	395
§ 20.8. Теория струн	397
§ 20.9. Что мы знаем о темной материи и темной энергии?	399
20.9.1. Темная материя (399). 20.9.2. Темная энергия (400).	
§ 20.10. О связи дополнительных измерений с темной энергией	403
Глава 21. Большой взрыв и эволюция ранней (горячей) Вселенной	408
§ 21.1. Начальный период эволюции Вселенной	408
§ 21.2. Инфляционная стадия состояния Вселенной	409
§ 21.3. Электрослабая, адронная и лептонная эры. Дозвездный нуклеосинтез	411
§ 21.4. Образование атомов. Разделение вещества и излучения	414
§ 21.5. О рождении Миров	415
Глава 22. Звездный период эволюции Вселенной. Нуклеосинтез в звездах	416
§ 22.1. Протозвезды	416
§ 22.2. Диаграмма Герцшпрунга–Ресселя	417
§ 22.3. Отрицательная теплоемкость звезд	418
§ 22.4. Солнце	419
§ 22.5. Белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры	423

§ 22.6. Массивные звезды	428
§ 22.7. Распространенность химических элементов в природе. Их происхождение	431
§ 22.8. Возможная конечная судьба Вселенной	438
Глава 23. Физические свойства космических лучей и процессы их трансформации в атмосфере	440
§ 23.1. Важнейшие свойства первичного космического галактического излучения	440
§ 23.2. Магнитное поле Земли и геомагнитные явления	444
§ 23.3. Качественное представление о процессах взаимодействия первичного космического галактического излучения (ГКЛ) в атмосфере Земли	449
§ 23.4. Моделирование процессов прохождения космического излучения через атмосферу Земли	453
23.4.1. Исходные предпосылки расчета компонент космического излучения в атмосфере (453). 23.4.2. Моделирование процессов распространения нуклонов (454).	
§ 23.5. Моделирование процесса распространения ядер с $Z \geq 2$	458
§ 23.6. Энергетические, пространственные и угловые распределения нуклонов и ядер с $Z \geq 2$ космического происхождения в атмосфере Земли	459
23.6.1. Протоны и нейтроны галактического происхождения (459). 23.6.2. Протоны солнечного происхождения (464).	
Литература к части VI	471
 Часть VII. Элементы радиационной экологии	
Глава 24. Воздействие ионизирующего излучения на организм человека	473
§ 24.1. Эффекты воздействия радиации на человека	473
§ 24.2. Величины, используемые для количественного описания радиационных эффектов	475
24.2.1. Поглощенная доза (475). 24.2.2. Линейная передача энергии и относительная биологическая эффективность (475). 24.2.3. Коэффициент качества и весовой множитель (476). 24.2.4. Эффективная и эквивалентная дозы. Тканевый весовой множитель (477). 24.2.5. Экспозиционная доза (478). 24.2.6. Коллективная доза (479).	
§ 24.3. Последствия облучения	481
§ 24.4. Рекомендуемые пределы дозы	484
Глава 25. Аппаратура для дозиметрического контроля и методы защиты от ионизирующего излучения	486
§ 25.1. Дозиметрическая аппаратура	486
25.1.1. Классификация дозиметрических приборов (486). 25.1.2. Понятие электронного равновесия. Воздухоэквивалентные вещества (486). 25.1.3. Ионизационные газовые дозиметры (487). 25.1.4. Сцинтилляционные дозиметры (490). 25.1.5. Полупроводниковые дозиметры (492). 25.1.6. Использование фотоэмульсий в дозиметрии (493).	

§ 25.2. Защита от ионизирующего излучения	493
25.2.1. Рекомендации общего характера. Простейшие способы защиты (493). 25.2.2. Защита от γ -излучения (493). 25.2.3. Защита от нейтронов (495). 25.2.4. Оптимизация двуслойной защиты от изотопных источников нейтронов (495). 25.2.5. Защита, основанная на введении в организм препаратов (497).	
Глава 26. Уровни облучения, создаваемые ионизирующим излучением различного происхождения	499
§ 26.1. Исходные замечания об уровнях радиации различного происхождения	499
§ 26.2. Дозное поле, создаваемое на поверхности Земли естественными источниками ионизирующего излучения	499
§ 26.3. Дозное поле в тропосфере и нижней стратосфере	501
§ 26.4. Проблема радона	504
§ 26.5. Технологически повышенный естественный радиационный фон	506
26.5.1. Угольные теплоэлектростанции (506). 26.5.2. Промышленное использование продуктов переработки фосфоритов (507). 26.5.3. Строительные материалы (507). 26.5.4. Предметы широкого потребления (508). 26.5.5. Радон в домах (509). 26.5.6. Дозовые нагрузки, получаемые человеком при авиационных перевозках (509).	
§ 26.6. Искусственные источники ионизирующего излучения	515
26.6.1. Общие представления об искусственных источниках ионизирующего излучения (515). 26.6.2. Профессиональное облучение на различных стадиях ядерного топливного цикла (516). 26.6.3. Радиоактивное загрязнение внешней среды при производстве ядерной энергии (517). 26.6.4. Облучение населения в медицинских целях (517). 26.6.5. Радиоактивное загрязнение окружающей среды в результате ядерных взрывов в атмосфере (518).	
§ 26.7. Сводные данные о масштабах радиоактивных воздействий на человека	520
§ 26.8. Радиационный контроль воздушного пространства, связанный с испытаниями ядерного оружия в атмосфере	520
Литература к части VII.	526
Приложение А. Краткий обзор работ по созданию атомного и термоядерного оружия в некоторых технологически развитых странах.	528
Приложение Б. Соотношение между высотой H и глубиной остаточной атмосферы h	541
Приложение В. δ-функция Дирака.	543
Приложение Г. Расчет нуклонной компоненты	545
Приложение Д. Расчет ядерной компоненты.	549
Приложение Е. Примерные значения некоторых физических констант и единиц	551
Приложение Ж. Карта расположения зон проведения ядерных взрывов	552
Литература к приложениям.	553
Заключение.	554
Предметный указатель	556