

УДК 539.1(075.8)

ББК 22.38я73

Т98

Тюрин Ю.И.

Т98

Физика: Ядерная физика. Физика элементарных частиц. Астрофизика: учебник / Ю.И. Тюрин, И.П. Чернов, Ю.Ю. Крючков; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 252 с.

ISBN 978-5-98298-647-7

Учебник, классический по построению и содержанию, представляет курс лекций по физике, направленный на выработку у студентов практических навыков использования фундаментальных физических закономерностей для решения профессиональных задач. Основное внимание уделено квантовомеханическому описанию свойств ядер, современным представлениям физики элементарных частиц и космологии. Достаточно подробно рассмотрены прикладные вопросы ядерной физики и современные методы физических исследований.

Разработан в рамках реализации Инновационной образовательной программы ТПУ по направлению «Технологии водородной энергетики, энергосбережение и возобновляемые источники энергии» и предназначен для преподавателей, студентов, бакалавров и магистров технических университетов.

УДК 539.1(075.8)

ББК 22.38я73

Рецензенты

Доктор физико-математических наук, профессор
зав. кафедрой общей и экспериментальной физики ТГУ

В.П. Демкин

Доктор физико-математических наук, профессор
зав. кафедрой прикладной и теоретической физики НГТУ

В.Г. Дубровский

Доктор технических наук, профессор

В.Л. Чахлов

ISBN 978-5-98298-647-7 © Томский политехнический университет, 2009
© Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Крючков Ю.Ю., 2009
© Оформление. Издательство Томского политехнического университета, 2009

1. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

1.1. Введение

Ядерная физика представляет собой важную и быстро развивающуюся область современной физики. Поскольку в настоящее время полное понимание природы ядерных сил еще не достигнуто, то невозможно изложить теорию ядра, как это делается, скажем, для случая атома водорода. Теория ядра сходна с квантовой механикой атома, за исключением того, что она не использует закон Кулона: теория предсказывает для связанных состояний дискретные уровни энергии, но не в состоянии точно вычислить их положение. Она предсказывает туннельный эффект для заряженных частиц, проходящих через узкие потенциальные барьеры, но не может ничего точно сказать о форме этих барьеров. Тем не менее, квантовая механика, которая дает объяснение качественной природы явлений, в сочетании с экспериментальными сведениями, служащими для количественного описания, обеспечивает «рабочий» уровень понимания ядерной физики.

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов, связанных ядерными силами (сильным взаимодействием). Нейтроны и протоны имеют почти одну и ту же массу и весьма сходные свойства. Их обычно называют нуклонами. Суммарное число протонов и нейтронов – массовое число, обозначается символом A . Число нейтронов N равно $A - Z$, где Z – атомный номер или число протонов в ядре (число электронов в оболочке атома). Величина A данного атомного ядра очень близка к атомной массе самого атома.

Символическая запись ядра ${}_Z^AX$, где X – химический элемент. Для обозначения конкретного ядра используется символ атома с указанием сверху массового числа. Например, ${}^{14}\text{C}$ – это изотоп углерода, ядро которого состоит из 6 протонов и 8 нейтронов. Атомная масса ядра ${}^{12}\text{C}$ выбрана в точности равной 12. Шкала атомных масс (атомная единица массы^{*)}) основана на массе изотопа углерода ${}^{12}\text{C}$.

^{*)} Атомная единица массы (а.е.м.) – единица массы, равная 1/12 массы изотопа углерода ${}^{12}\text{C}$; применяется в атомной и ядерной физике для выражения масс элементарных частиц, атомов, молекул. $1 \text{ а.е.м.} = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ (на 1984 г.). Энергетический эквивалент $1 \text{ а.е.м.} = 931,50 \text{ МэВ}$.

Ядра, имеющие одинаковое число протонов, но различные числа нейтронов, называются изотопами. Например, ядра изотопов водорода – протон ${}^1_1\text{H}$, дейтрон ${}^2_1\text{H}$ (или ${}^2_1\text{D}$) и тритон ${}^3_1\text{H}$ (или ${}^3_1\text{T}$). У легких и средних ядер число протонов и нейтронов примерно одинаково.

1.2. Рассеяние микрочастиц при их столкновениях

Если в физике атомов, молекул и образованных из них макроскопических систем основными методами исследований являются спектроскопические (изучают квантовые переходы между уровнями энергии, взаимодействия атомов и молекул, а также макроскопические характеристики объектов – температуру, плотность, скорость макроскопического движения и т. д.), то в ядерной физике и физике элементарных частиц основной метод – рассеяние микрочастиц при их столкновениях. Для этого используются или естественные источники высокоэнергетических микрочастиц (радиоактивные вещества, космические частицы), или строятся специальные ускорители частиц.

Рассеяние микрочастиц – процесс столкновения частиц, в результате которого либо меняются их импульсы (упругое рассеяние), либо наряду с изменением импульсов меняется также внутреннее состояние частиц или образуются другие частицы (неупругие процессы). Одна из основных количественных характеристик рассеяния – эффективное сечение – величина, пропорциональная вероятности процесса.

Рассмотрим рассеяние одной заряженной частицы в поле другой. Траектория частицы, проходящей через силовое поле (с центром O , см. рис. 1.1, a), искривляется – происходит рассеяние. Угол θ между начальным ($\mathbf{p}_{\text{нач}}$) и конечным ($\mathbf{p}_{\text{кон}}$) импульсами рассеиваемой частицы называется углом рассеяния. Угол рассеяния зависит от характера взаимодействия между частицами и прицельного параметра b – расстояния наибольшего возможного сближения частицы с силовым центром. Обычно на исследуемое вещество направляют пучок частиц, например α -частиц (рис. 1.1, a). Число частиц dN , рассеянных в единицу времени на углы в интервале $\theta, \theta + d\theta$, равно числу частиц, проходящих в единицу времени через кольцо площадью $2\pi b db$. Если N – плотность потока падающих частиц ($\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$), то $dN = 2\pi b db \cdot N$.

Эффективное сечение – величина, характеризующая вероятность перехода системы двух сталкивающихся частиц в результате их рассеяния (упругого или неупругого) в определенное конечное состояние. Сечение $d\sigma$ равно отношению числа dN таких переходов в единицу времени к плотности N потока рассеиваемых частиц:

$$d\sigma = dN/N = 2\pi b db.$$