

В релятивистской квантовой физике часто используют так называемую естественную систему единиц, в которой обе фундаментальные константы равны единице:

$$\hbar = c = 1.$$

В этой системе размерности энергии, импульса и массы одинаковы и обратны совпадающим друг с другом размерностям длины и времени:

$$[E] = [p] = [m] = [r^{-1}] = [t^{-1}]. \quad (1.52)$$

В этой системе только одна единица (например, длина) должна задаваться извне, и через эту единицу выражаются все остальные. Характерной для ядерной физики обратной длине

$$1 \text{ ферми}^{-1} = 10^{13} \text{ см}^{-1}$$

соответствуют энергия или масса 200 МэВ и импульс 200 МэВ/с.

§ 4. Измерения в микромире

1. Человек — существо макроскопическое. Разрешающая способность его органов чувств на много порядков ниже той, которая нужна для непосредственного познания элементарных частиц, атомных ядер и даже гораздо более крупных агрегатов — атомов и молекул. Поэтому все наблюдения над событиями микромира — косвенные. Непосредственно мы не видим, не слышим и не ощущаем, как устроено атомное ядро. Но этим трудности опытного изучения микромира далеко не исчерпываются. Не видим мы и магнитного поля. Но изучать атомное ядро гораздо труднее, чем магнитное поле, из-за влияния квантовых свойств. Видим мы через посредство электромагнитных волн. Но с помощью волн можно «увидеть» лишь предмет, не меньшей длины волны. Поэтому для изучения очень малых предметов надо брать очень короткие волны. Но чем короче волна, тем сильнее сказываются ее корпускулярные свойства, т. е. тем больше импульсы и энергии отдельных частиц — квантов излучения. При переходе к микромиру энергии и импульсы этих квантов настолько возрастают, что они становятся снарядами, расшвыривающими и разрушающими изучаемые объекты.

Между тем других способов изучения структуры вещества на сверхмалых расстояниях (от размеров ядра и меньше) нет. Мы можем только бомбардировать те или иные мишени пучками тех или иных микрочастиц и регистрировать вылетающие частицы на макроскопических расстояниях от места столкновения.

Может быть, некоторое представление о трудностях познания микромира даст такая аналогия: посредине темной сферической полости размером с земной шар размещено очень большое количество одинаковых предметов, например, радиоприемников одной и той же марки. В условиях невесомости и отсутствия сопротивления воздуха вы стреляете по ним из пулемета, а на поверхности полости регистрируете скорость и место падения осколков. Подумайте, как по этим данным восстановить конструкцию приемника, и вы получите представление о том, как изучают элементарные частицы.

2. Поскольку главным методом изучения атомных ядер и элементарных частиц является исследование столкновений пучков частиц с мишенями, то основную роль должны играть те физические величины, которые описывают процессы столкновений. Важнейшей из таких величин является *эффективное поперечное сечение*, чаще называемое просто *сечением*. Дадим определение сечения,

Пусть на плоскую мишень, содержащую N частиц, налетает однородный пучок частиц с плотностью потока j . Налетающие частицы производят в мишени ядерные реакции. Обозначим через dn число интересующих нас реакций, происходящих в мишени в 1 с. Тогда эффективным сечением $d\sigma$ называется величина

$$d\sigma = \frac{dn}{jN}. \quad (1.53)$$

Эффективное сечение, как видно из (1.53), имеет размерность см^2 , т. е. площади. Оно не зависит ни от потока налетающих частиц, ни от числа частиц в мишени.

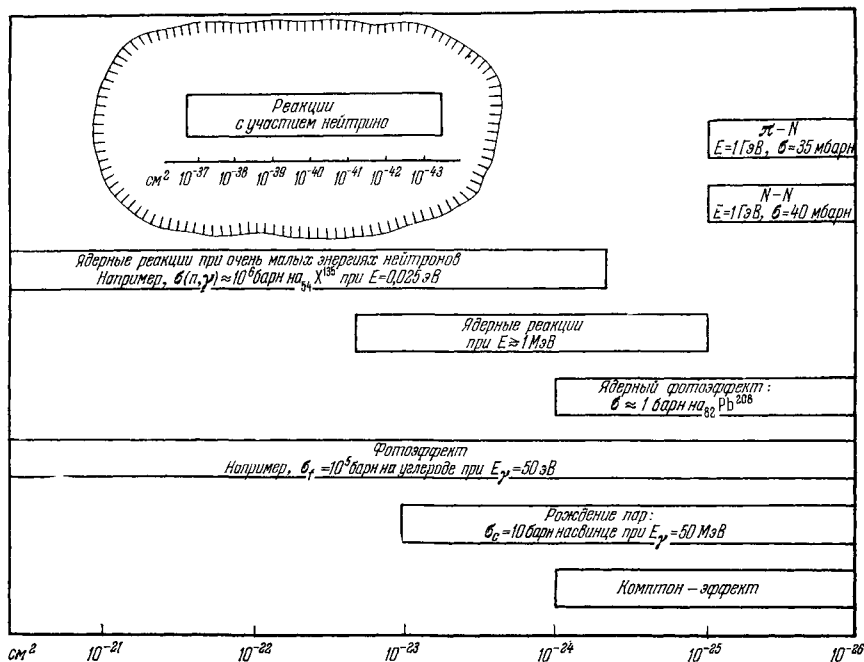


Рис. 1.2. Порядки величины сечений в ядерной физике.

1 барн = 10^{-24} см^2 , 1 мбарн = 10^{-27} см^2 .

ни от агрегатного состояния мишени и т. д. и является характеристикой элементарного акта столкновения.

Эффективное сечение можно наглядно интерпретировать как площадку, попадая в пределы которой налетающая частица производит интересующую нас реакцию.

Разделив $d\sigma$ на элемент объема, составленный из дифференциалов переменных, от которых зависит сечение, получим дифференциальное сечение. Для наиболее часто встречающейся реакции типа

$$a + b \rightarrow c + d \quad (1.54)$$

дифференциальное сечение $d\sigma/d\Omega$ получается делением $d\sigma$ на элемент $d\Omega = \sin \vartheta d\vartheta d\varphi$ телесного угла, где ϑ и φ — сферические углы направления вылета

одной из частиц c или d . С другими формами дифференциальных сечений мы встретимся в гл. VII, §§ 7, 8.

Масштабы сечений, с которыми имеют дело в ядерной физике, изображены на рис. 1.2.

3. Из-за статистического характера квантовых процессов микромира наблюдения в ядерной физике всегда носят статистический характер. Зарегистрировав один распад нестабильной частицы, мы ничего не узнаем о том, какое время проживет другая такая же частица. И только пронаблюдав 10 000 распадов, мы определим среднее время жизни таких частиц с точностью до 1%. Это не значит, однако, что в ядерной физике нельзя делать очень точных измерений. Более того, в гл. VI, § 6 мы узнаем, что одно из самых точных измерений человек сделал именно в физике атомного ядра.