

Совокупность значений спина и четности называется *характеристикой* уровня ядра. На рис. 2.24 для примера приведены характеристики основного и двух возбужденных уровней ядра  ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ .

5. В качестве примера использования закона сохранения четности рассмотрим ядерную реакцию, в которой при столкновении протона  $p$  с ядром лития  ${}_{3}\text{Li}^7$  образуются две  $\alpha$ -частицы:

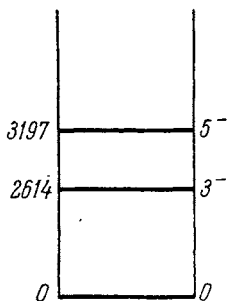
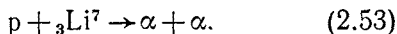


Рис. 2.24. Низшие возбужденные состояния ядра изотопа свинца  ${}_{82}\text{Pb}^{208}$ .

Энергии даны в кэВ.

Если налетающий протон имеет небольшую энергию (порядка 1 МэВ), то, как будет объяснено в гл. IV, § 4, относительный орбитальный момент системы  $p + {}_{3}\text{Li}^7$  близок к нулю, так что согласно правилу б) четность этой системы совпадает с четностью ядра  ${}_{3}\text{Li}^7$ . С другой стороны, система двух  $\alpha$ -частиц всегда четна в соответствии с (2.47). Согласно закону сохранения четности, для того чтобы реакция могла идти, ядро  ${}_{3}\text{Li}^7$  должно также быть четным. Экспериментально эта реакция при низких энергиях сильно подавлена, что с определенностью указывает на отрицатель-

ную четность ядра  ${}_{3}\text{Li}^7$ . А это в свою очередь является одним из указаний на то, что ядро  ${}_{3}\text{Li}^7$  можно себе представить как  $\alpha$ -частичный остов, окруженный тремя нуклонами, каждый из которых имеет орбитальный момент, равный единице.

Может возникнуть вопрос, как истолковать использование закона сохранения четности для исследования реакции лития с протонами (или для других реакций) в рамках общей формулировки закона сохранения четности, данного в начале настоящего параграфа. Не вдаваясь в математические детали, укажем, что эта трактовка такова. При низких энергиях волновая функция системы  $p + {}_{3}\text{Li}^7$  приближенно антисимметрична относительно зеркального отражения, в то время как волновая функция двух  $\alpha$ -частиц симметрична. Это и приводит к подавлению реакции. Другие примеры использования закона сохранения четности приведены в гл. IV, VI.

## § 10. Заключительные замечания

1. Перечисленные в предшествующих параграфах статические характеристики атомных ядер по крайней мере на сегодняшний день следует считать основными. Это, конечно, не исключает возможности существования у ядер целого ряда других характеристик, исследование которых также представляет интерес для понимания структуры ядра. Перечислим некоторые из этих дополнительных характеристик.

Ядра со спином не менее  $3/2$  могут обладать октупольным магнитным моментом. Такой момент, в частности, обнаружен у изотопа йода  ${}_{53}\text{I}^{127}$ , имеющего спин  $I = 5/2$ . Эффекты, создаваемые октупольными (и тем более высшими) магнитными моментами, слабы и с трудом поддаются наблюдению.

Напомним, что существование у ядер и элементарных частиц электрического дипольного и магнитного квадрупольного моментов запрещено законами инвариантности относительно инверсии координат и отражения времени (см. § 4, п. 5).

Электрический дипольный момент у ядер и элементарных частиц может возникнуть под действием внешнего электрического поля. Этот эффект определяется новой физической величиной — электрической поляризуемостью ядра.

2. Статические характеристики имеют смысл не только для стабильных ядер в основных состояниях, но и для нестабильных ядер, а также для возбужденных уровней ядер. В этих случаях у ядра появляется новая характеристика — время жизни  $\tau^*$ ), определяемое как время, за которое претерпевает распад  $1/2, 72$  ядер, находящихся в исследуемом состоянии. Очевидно, что понятие статической характеристики может иметь смысл лишь для достаточно больших  $\tau$ , т. е. для уровней, «живущих» достаточно долго. Возникает вопрос, с чем же надо сравнивать  $\tau$ , т. е. каков критерий того, что ядро живет достаточно долго. Для оценки этого критерия вспомним, что согласно квантовому соотношению неопределенностей уровень с временем жизни  $\tau$  не может быть строго моноэнергетическим, а должен иметь по энергиям разброс порядка  $\Gamma$ ,

$$\Gamma = \frac{\hbar}{\tau}. \quad (2.54)$$

Величина  $\Gamma$  называется *шириной уровня*. Понятие уровня, а тем самым и его статических характеристик имеет смысл до тех пор, пока ширина этого уровня не превышает расстояния между соседними уровнями, т. е. пока уровни не перекрываются. Поэтому условие существования уровня имеет следующий вид:

$$\Gamma \ll \Delta E, \quad (2.55)$$

где  $\Delta E$  — расстояние между уровнями. При выполнении условия (2.55) статические характеристики можно вводить и для нестабильных ядер, а также для стабильных ядер, находящихся в возбужденных состояниях.

Следует отметить, что условие (2.55) может хорошо выполняться и при весьма малых временах жизни  $\tau$ , особенно для легких ядер, у которых наиболее велики (порядка 1 МэВ) расстояния между уровнями. Действительно, при  $E_n - E_{n-1} = 1$  МэВ из (2.54), (2.55)

\*) Подробнее о времени жизни см. гл. VI, § 2, п. 4.

для  $\tau$  получается неравенство

$$\tau \gg 6 \cdot 10^{-22} \text{ с.}$$

Изучение статических характеристик короткоживущих ядерных уровней сопряжено с большими трудностями. Обычно удается измерить лишь положение, спин и четность уровня. За последние десятилетия научились измерять также магнитные и квадрупольные моменты низших возбужденных состояний (см. гл. IV, § 11, п. 5; гл. VI, § 6, п. 5).

3. Почти всеми приведенными выше статическими характеристиками обладают не только атомные ядра, но и все микрообъекты, и в частности элементарные частицы. Так, элементарные частицы обладают зарядом, спином, четностью, радиусом, магнитным моментом, статистикой. Вместо энергии связи и массового числа для элементарных частиц рассматриваются соответствующие эквивалентные понятия массы и барионного заряда.

Квадрупольные электрические моменты для элементарных частиц пока не рассматривались, так как квадрупольный момент существует лишь при спине, не меньшем единицы, а элементарные частицы с таким спином немногочисленны и имеют слишком короткие времена жизни. Для элементарных частиц, по-видимому, не существует понятия типа несферичности или момента инерции, так как в их спектрах возбуждений не удается обнаружить вращательной структуры. Как будет указано в гл. VII, элементарные частицы обладают еще рядом дополнительных по сравнению с ядром характеристик.