

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ФИЗИКА НЕЙТРОНОВ

§ 31. ОТКРЫТИЕ НЕЙТРОНА И ЕГО СВОЙСТВА

В современной экспериментальной и прикладной физике большую роль играют нейтроны. При их помощи удалось освободить энергию атомного ядра в процессе деления ядер и создать мощные источники энергии. Так как нейтрон — частица незаряженная, то кулоновский барьер не препятствует ее проникновению в ядро. Это обуславливает особые возможности использования нейтрона для излучения ядерных структур и реакций.

История открытия нейтрона весьма характерна для путей развития ядерной физики вообще. Резерфорд еще в 1920 г. на основании общих соображений предсказал существования частицы с $Z=0$ и массой, примерно равной массе протона, и даже обрисовал некоторые ее свойства.

В 1930 г. Боте и Беккер, облучая пластинку Вe α -частицами, наблюдали какое-то излучение, которое действовало на счетчик. Это «что-то» не могло быть α -частицами, так как пробеги α -частиц были меньше толщины использовавшейся пластинки Вe. Поскольку это излучение слабо поглощалось свинцом, естественно было считать его γ -лучами.

В 1932 г. Жолио и Кюри повторили опыт с Вe. На пути неизвестного излучения они помещали парафин и наблюдали протоны, выбитые из парафина. Энергия протонов оказалась равной 4,3 Мэв. Было высказано предположение, что происходит ядерный фотоэффект. Из общих законов кинематики можно показать, что протоны такой энергии могли быть выбиты из ядра за счет ядерного фотоэффекта, только если энергия первичных γ -лучей превышала 50 Мэв. Но к этому времени уже было выяснено, что ядру свойственны энергетические уровни порядка лишь нескольких единиц Мэв, и поэтому ядра, испускавшие γ -лучи, не могли иметь возбужденного уровня с энергией, равной 50 Мэв. Таким образом, вопрос об источнике такого жесткого γ -излучения был не решен.

Чэдвик, руководствуясь идеей Резерфорда, анализировал результаты опытов Боте и Беккера, Жолио и Кюри и предположил, что новое проникающее излучение состоит не из фотонов, а из тяжелых нейтральных частиц. Наблюдая в камере Вильсона ядра отдачи азота, возникшие в результате взаимодействия нового излучения с азотом, и протоны отдачи, образованные в парафине, Чэдвик первый определил массу нейтрона, которая оказалась приблизительно равной массе протона.

Рассмотрим законы сохранения энергии и импульса, из которых было впервые получено значение массы нейтрона. Если предположить, что нейтроны выбивают из парафина протоны отдачи и рассматривать столкновение нейтрона с протоном как упругое рассеяние, то можно написать для лобового столкновения, когда скорость, приобретаемая протоном, максимальна:

$$\frac{1}{2} m_1 v^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_p v_p^2;$$

$$m_1 v = m_1 v_1 + m_p v_p,$$

где m_1 — масса нейтрона; v — скорость нейтрона до столкновения; v_1 — скорость нейтрона после столкновения; m_p , v_p — масса и скорость протона.

Здесь в двух уравнениях содержатся три неизвестные величины: m_1 , v и v_1 (скорость протона v_2 определяется по его пробегу). Поэтому необходим дополнительный опыт. Чтобы получить третье уравнение, с теми же нейтронами повторяют опыт на азоте (масса ядра азота M_N) и определяют максимальную энергию отдачи ядра азота, с которым столкнулся нейтрон E_N . Она равна 1,2 Мэв. Энергия отдачи протона равна 4,3 Мэв. Следовательно, можно определить скорости протонов и ядер азота v_p и v_N . Решая уравнения совместно для скоростей ядер отдачи, получим

$$\frac{v_p}{v_N} = \frac{M_N + m_1}{m_p + m_1}.$$

Таким образом была определена масса нейтрона, которая оказалась примерно равной массе протона, $m_n \approx m_p$. Позже были определены и другие характеристики нейтрона: спин $S_n = 1/2 \hbar$; магнитный момент $\mu_n = -1,91 \mu_0$; положительная четность $P_n = +1$; точное значение массы $m_n = 1,0089 \text{ Мэв}$; $m_n c^2 = 939,5 \text{ Мэв}$.

Как уже говорилось, изучение структуры нейтрона в последние годы привело к выводу, что он обладает в среднем взаимно компенсированным, распределенным в пространстве электрическим зарядом (положительным в центральной части и отрицательным на периферии), движение которого определяет магнитный момент нейтрона.