

и их среднее время жизни определяется либо средним временем жизни мезона, либо вероятностью захвата мезона ядром. В случае захвата мезона ядром один из ядерных протонов превращается в нейтрон с испусканием нейтрино (как при β^+ -превращении):



Вероятность захвата мезона ядром возрастает пропорционально четвертой степени атомного номера Z ; поэтому оказывается, что при $Z > 10$ (например, в железе, латуни и т. д.) отрицательные мезоны мезоатомов почти всегда захватываются ядром, тогда как в мезоатомах легких элементов захвата не происходит и наблюдается выброс электрона, возникшего вследствие распада мезона.

§ 99. π-мезоны

В 1947 и 1948 гг. Поуэлл, Окиалини и вслед за ними другие физики обнаружили в космических лучах присутствие мезонов, отличающихся от μ -мезонов свойством сильного взаимодействия с атомными ядрами, т. е. действительно аналогичных «частицам Юкава» (§ 98). Этот род мезонов стали называть π -мезонами (или пионами). Как и μ -мезоны, π -мезоны имеют заряд электрона (π^- -мезоны) или позитрона (π^+ -мезоны). Масса покоя π -мезонов приблизительно в $\frac{1}{3}$ раза больше массы покоя μ -мезонов:

$$m_{\mu^\mp} = 206,7 m_e, \quad \text{спин} = \frac{1}{2},$$

тогда как

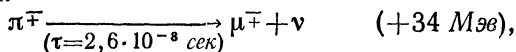
$$m_{\pi^\mp} = 273,2 m_e, \quad \text{спин} = 0.$$

В 1950 г. были открыты π -мезоны, не имеющие заряда, нейтральные π^0 -мезоны, которые иногда называли также *нейтретто*. Их масса покоя на несколько масс электрона меньше массы заряженных π -мезонов:

$$m_{\pi^0} \approx 264,2 m_e, \quad \text{спин} = 0.$$

(Существование нейтральных μ -мезонов не обнаружено.)

Как и μ -мезоны, π -мезоны являются неустойчивыми частицами и спонтанно распадаются с весьма малым средним временем жизни. При распаде заряженных π -мезонов образуются μ -мезоны и испускается нейтрино; нейтральные π -мезоны распадаются на два γ -фотона:



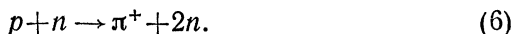
$$\pi^0 \xrightarrow{(\tau \approx 10^{-14} \text{ сек})} 2\gamma \quad (E_\gamma = h\nu = \frac{1}{2} m_\pi c^2 = 67,5 \text{ Мэв}).$$

Распад остановившихся π -мезонов приводит к образованию медленных μ -мезонов, обладающих во всех случаях энергией около 4 Мэв (при энергии нейтрино 30 Мэв); последнее обстоятельство

указывает, что распад заряженных π -мезонов сопровождается испусканием только одного (а не двух, как при распаде μ -мезонов) нейтрино, как и должно быть при спине π -мезона, равном нулю.

Исследования, проведенные при помощи толстослойных фотопластинок (§ 96 и 108), показали, что заряженные и нейтральные π -мезоны появляются при ядерных превращениях, вызываемых столкновением первичных частиц космических лучей с ядрами различных элементов, входящих в состав земной атмосферы. Благодаря огромной энергии протоны и α -частицы первичных космических лучей производят «взрыв» ядра и в результате образуются десятки частиц — возникает *ядерный ливень*. В таких взрывных ливнях наряду с выброшенными из ядра нуклонами в еще большем количестве обнаруживаются π -мезоны. Энергия каждого из π -мезонов в ядерных ливнях измеряется сотнями и нередко тысячами мегаэлектронвольт.

В 1948—1955 гг. были разработаны методы, позволяющие получать π -мезоны в лабораторных условиях. Так, например, появление π^0 -мезонов обнаруживается при облучении бериллия, меди, тантала и других веществ протонами, разогнанными в ускорительных устройствах (§ 103 и 105) до энергии порядка 400 *Мэв*. Положительные π -мезоны образуются при соударении протона с нейтроном, когда энергия относительного движения сталкивающихся частиц достаточно велика:



Рождение π^- -мезонов сопровождается противоположное превращение: нейтрона в протон, что происходит, в частности, при взаимодействии нейтрона с жестким γ -фотоном, имеющим энергию около 300 *Мэв*:



Как уже упоминалось, π -мезоны, в отличие от μ -мезонов, *сильно взаимодействуют с атомными ядрами*, и, проникая в них, вызывают ядерные превращения¹⁾. Отрицательные π -мезоны при небольшой энергии могут быть (подобно μ -мезонам) захвачены полем ядра на стационарные орбиты, размеры которых в $\frac{m_\pi}{m_e}$ раз меньше электронных. Переходя за очень короткое время на нижележащие орбиты, π^- -мезон в конце концов оказывается на самой нижней *K*-орбите. Вслед за этим происходит захват мезона ядром. Конечно, захват мезона ядром может произойти и с более высоких орбит, но вероятность этого процесса мала. Распада π^- -мезона на орбите, в отличие от μ^- -мезона в легких мезоатомах, никогда не происходит, так как π -мезоны несравненно сильнее взаимодействуют с ядром, чем μ -мезоны.

¹⁾ Взаимодействие π -мезонов с нуклонами и причины их образования в ядерных реакциях, вызванных частицами с большой энергией, рассмотрены в § 111 и 112.

В космических лучах π -мезоны распадаются «на лету» раньше, чем успевают утратить существенную часть своей энергии на ионизацию; при этом большая часть (около 75%) энергии заряженных π -мезонов уносится μ -мезонами (25% энергии приходится на долю нейтрино); энергия движения нейтральных π -мезонов уносится фотонами распада; так возникают μ -мезоны и фотоны с энергиями в тысячи мегаэлектронвольт. Принимая во внимание сказанное в двух предыдущих параграфах, основные явления, наблюдаемые в космических лучах, можно представить в виде следующей схемы:

