

переходе между протонами ядра происходит в два этапа. На первом уничтожается протон в начальном состоянии, рождаются протон в конечном состоянии и электромагнитный квант. На втором электромагнитный квант уничтожается, порождая пару электрон — позитрон. Процесс  $\beta$ -распада происходит аналогично в два этапа. На первом уничтожается нейтрон, рождается протон и квант слабого поля  $W^-$ . На втором этапе квант  $W^-$  уничтожается, порождая пару электрон — антинейтрино.

Поле  $W$  отличается от электромагнитного не только зарядом. Квант электромагнитного поля — фотон — безмассовая частица. Квант  $W$ -поля —  $W$ -бозон обладает массой почти в 100 раз большей, чем масса протона. Из-за большой массы  $W$ -бозона слабое взаимодействие происходит на очень малых даже по сравнению с размером ядра расстояниях. Это выделяет очень малую область, в которой происходят  $\beta$ -процессы, отсюда и «слабость» слабого взаимодействия. Электромагнитные волны распространяются на большие расстояния. Из-за большой массы  $W$ -бозонов  $W$ -поле действует на расстояниях, меньших  $10^{-16}$  см. Такое короткодействие  $W$ -взаимодействия приводит к тому, что при малых по сравнению с  $m_W c^2$  энергиях вызываемые им процессы оказываются на 10—20 порядков менее вероятными, чем процессы ядерного (сильного) или электромагнитного взаимодействия, если последние возможны.

Между  $p$  и  $n$  действуют разные силы, разные поля. Мы рассматриваем сейчас те поля, которые связаны с превращением  $p \rightleftharpoons n$  в  $\beta$ -распадах и похожи на электромагнитное поле. В строении ядра, в энергии связи они совсем не главные!

Развитие идеи симметрии между нейтроном и протоном привело к единой теории слабого и электромагнитного взаимодействия. Но главные силы между нуклонами в ядрах связаны с сильным взаимодействием. Какова же природа ядерных сил?

### Теория Юкавы. Мезоны

В 1935 г. японский физик Х. Юкава предложил свою теорию ядерных сил. Он использовал симметрию между нейтроном и протоном и идею о взаимопревращениях протона и нейтрона в ядре.

Квантовый процесс уничтожения нейтрона и рождения протона в ядре приводил, согласно теории Юкавы, к рождению квантов поля сильного взаимодействия — новых частиц. Взаимодействие этих квантов с нуклонами должно быть очень сильным. Велика вероятность их рождения. Столь же велика и вероятность их поглощения другим нуклоном ядра. Если один нуклон в квантовом переходе породил такой квант, а другой нуклон поглотил этот квант, то тем самым осуществилось взаимодействие между нуклонами в ядре.

Обмен шайбой на катке всегда приводит к отталкиванию. Обмен частицами в квантовой теории может приводить и к отталкиванию, и к притяжению. Все зависит от того, какие частицы обмениваются квантом и каковы свойства такого кванта.

Наблюдаемые свойства ядер и закономерности связи нуклонов в ядре можно было объяснить в теории Юкавы, если масса частицы — кванта поля ядерных сил имела величину примерно в 260 раз большую, чем масса электрона. Гипотетическая частица, предсказываемая в теории Юкавы, должна была занимать промежуточное положение по массе между электроном и нуклоном. Эта частица должна была быть промежуточным агентом между взаимодействующими нуклонами. Ее стали называть *мезоном* (или *мезотроном*) от греческого «мезос» — средний, промежуточный. Теорию Юкавы стали называть *мезонной теорией*.

В действительности теория Юкавы предсказывала не одну частицу, а три. Превращение нейтрона в протон должно было сопровождаться рождением отрицательно заряженного мезона, превращение протона в нейтрон — положительно заряженного мезона. В ядре могут происходить и такие переходы, при которых протон остается протоном, а нейтрон — нейтроном. В таких переходах, согласно мезонной теории, должен был рождаться нейтральный мезон. Только так можно было обеспечить изоспиновую симметрию взаимодействия мезона с нуклонами.

Вследствие изоспиновой симметрии ядерных сил эти три частицы можно было рассматривать как три разных изоспиновых состояния одного и того же мезонного поля.

Итак, мезонная теория привлекла для объяснения сильного взаимодействия новые частицы — мезоны с положительным, отрицательным и нулевым электрическим зарядом и предсказывала величину их массы.

Теория Юкавы строилась по аналогии с электромагнетизмом, поэтому, вообще говоря, спин мезона должен был бы быть равным 1, но для простоты математических расчетов Юкава не учитывал спина мезонов, рассматривая их как частицы со спином 0. Оказалось, что именно этот простейший случай и осуществляется. Благодаря их нулевому спину обмен мезонами ведет к притяжению одинаковых частиц (например, двух нейтронов), и выбор спина 0 не только дань простоте. Как мы увидим, мезоны не играют такую фундаментальную роль в физике сильного взаимодействия, какую играют фотоны в электромагнетизме. Но сама постановка вопроса о существовании помимо электромагнитного новых полей взаимодействия и идея о связи таких полей с симметрией частиц сыграли очень важную роль в дальнейшем развитии физики.

Если при столкновении нуклонов есть избыток энергии, превышающий энергию покоя мезона, то возможен квантовый процесс рождения мезона в свободном состоянии. В 30-е гг. еще не было ускорителей частиц. Но были известны естественные потоки ускоренных частиц — космические лучи. В поисках мезонов физики обратились к изучению взаимодействия космических частиц в атмосфере.

В 1937 г. заряженная частица с массой приблизительно равной массе, предсказывавшейся для мезона в теории Юкавы, была найдена. Но это была не та частица!

### Странные времена — странные частицы

Частица, открытая в 1937 г. в космических лучах, была названа мезоном. Ее можно было бы назвать мезоном из-за «промежуточного» (между, электроном и нуклоном) значения ее массы. Но эта частица не обладала ядерным взаимодействием. Она взаимодействовала с ядрами только потому, что была электрически заряженной. Она взаимодействовала с ядрами как электрон — за счет электромагнитного взаимодействия, а также (снова наподобие электро-