

Элементарные частицы

«Год великих открытий» — 1932 год — завершил поворот в представлении об элементарных частицах.

«Экономные» схемы строения микромира не выдерживали экспериментальной проверки. Число элементарных частиц расширялось. Каждой частице должна была соответствовать еще и своя античастица.

Открытие нейтрона означало открытие новой элементарной частицы. Такой же элементарной, как и протон. К этому выводу пришли в 1932 г. В. Гейзенберг в Германии и Е. Н. Гапон и Д. Д. Иваненко в СССР. Итак, нейтрон входит в состав ядра. В ядрах нет «избыточных протонов» и ядерных электронов. Ядро с зарядом Z и массовым числом A состоит из двух типов элементарных частиц: из Z протонов и $(A - Z)$ нейтронов. Сама по себе такая замена еще не меняла традиционных представлений об элементарности. Менялись кирпичики — не принцип построения здания. Но применительно к β -распаду такая простая замена составляющих ядра содержала принципиально новый элемент. Электроны и нейтрино в ядре не содержатся, тогда в процессе β -распада должны рождаться пары β -частица—нейтрино подобно тому, как рождаются γ -кванты при γ -распаде. Исходя из этой аналогии, Энрико Ферми в 1934 г. предлагает теорию β -распада, согласно которой в ядре находятся протоны и нейтроны. В процессе β^+ -распада ядра протон превращается в нейтрон, а в процессе β^- -распада нейтрон превращается в протон*). При этом рождаются

*) Свободный протон стабилен, а свободный нейтрон нестабилен и распадается на протон, электрон и антинейтрино. Распад нейтрона и стабильность протона следуют из того, что масса, а значит, и энергия нейтрона на 0,13 % больше массы протона, на 0,08 % больше суммы масс протона и электрона, так что еще остается избыток на энергию нейтрино и электрона. Распад свободного протона невозможен энергетически, масса протона меньше минимальной суммарной массы нейтрона, позитрона и нейтрино. Однако действие ядерных сил может привести к тому, что энергия связанного в ядре протона окажется больше, чем энергия связанного нейтрона. Тогда связанный в ядре протон становится нестабильным относительно распада на связанный в ядре нейтрон, позитрон и нейтрино. Например, ядро ^{13}N (которое можно представить как систему $^{12}\text{C} + p$) нестабильно относительно распада на ядро ^{13}C (система $^{12}\text{C} + n$), позитрон и нейтрино. При этом связанный в ^{13}N протон неста-

позитрон (или электрон) вместе с частицей Паули — нейтрино.

После открытия нейтрона «азотная катастрофа» больше не страшилась. Массовое число 14 и заряд ядра 7 просто означали, что в ядре азота 7 протонов и $14 - 7 = 7$ нейтронов. Спин нейтрона тоже $1/2$. В ядре азота четное (14) число составляющих, и его спин должен быть целочисленным.

Концепция «элементарной частицы» как неизменной неуничтожаемой составляющей материи терпела крах. Электрон мог рождаться в β -распаде. Электрон мог уничтожаться: в паре с позитроном он мог аннигилировать в γ -кванты, в K -захвате атомный электрон мог захватываться ядром, уменьшая на единицу заряд и рождая нейтрино. В опытах с космическими лучами наблюдалось рождение пар: электрона и позитрона. Возникало представление о частицах, которые могут рождаться и уничтожаться. Частицы поля — фотоны и частицы материи — электроны могли превращаться друг в друга*). Оказалось, что электрон не вечен. Он может рождаться и уничтожаться так же, как может рождаться фотон. Однако фотоны могут рождаться и поглощаться поодиночке, а электроны — нет. Или в паре с позитроном, или в паре с протоном. Отдельный электрон без сопровождения не рождается. Этому препятствует закон сохранения заряда.

Типы частиц множились. Частицы могли рождаться и уничтожаться. Но сквозь их превращение проступал новый уровень законов сохранения. Новый уровень понятий, на котором сохранилось представление о неизменных формах бытия. О формах, неподвластных рождению или уничтожению. На смену «вечным частицам» в физику приходят «вечные заряды».

билен, а нейтрон, связанный в ^{13}C , стабилен. Эти выводы можно получить как на языке эффективных масс нуклонов в ядрах (с учетом энергии связи нуклона в ядре), так и прямо исходя из масс этих ядер, поскольку масса ядра учитывает энергию связи нуклонов.

*) В популярной литературе иногда встречались замечания, что аннигиляция *двух* частиц (электрона и позитрона) ведет к рождению тоже *двух* частиц (двух фотонов). Из этого факта выводился «фундаментальный» закон сохранения $2 = 2$. В действительности такого закона нет. В некоторых условиях одиночный γ -квант рождает пару e^+e^- , а при аннигиляции образуются не два, а три γ -кванта. Поэтому действительные законы сохранения в аннигиляции иные (см. далее).

Так в начале 30-х гг. в физику приходит целый ряд новых идей, определивших развитие теоретической физики последующего пятидесятилетия. Эти идеи (во всяком случае существенная их часть) лежат в основе современной теории микромира.

Рождение и уничтожение частиц

Теория Дирака позволяла описать все электромагнитные квантовые процессы. Она предсказала существование позитрона и правильно описала его физические свойства. На ее основе можно было изучать и переходы электронов в атоме, и процессы взаимодействия электронов и позитронов. Теория предсказала поведение электронов и позитронов в полном согласии с опытом. Подчеркнем, что теория и переходов электронов с одного уровня на другой в атоме, и перехода с $E < -mc^2$ на уровень с $E > mc^2$ была одной и той же. Гипотеза о *море Дирака* обеспечивала единство такого описания, фактически основанного на представлении о вечном неуничтожимом электроне. Но предсказание процессов аннигиляции электронов и позитронов, процессов рождения пар закладывали новую концепцию: взаимодействие, сводившееся по первоначальному смыслу к изменению траектории, обрело смысл рождения и гибели частиц. Можно было перевести язык теории Дирака на новый язык этой концепции. Этот язык реализован в квантовой теории поля, основанной на представлении о возможности рождения и уничтожения частиц.

Квантовая теория поля по-новому осмыслила представление о *море Дирака*. Допустив возможность рождения и уничтожения частиц, можно отказаться от резервуара электронов с отрицательной энергией. Состояние электрона с отрицательной энергией есть состояние позитрона с положительной энергией. Мир квантовой теории поля — не набитое до отказа неуничтожимыми электронами «море» состояний с отрицательной энергией. В ее основе лежит вакуум, способный рождать и поглощать электроны и позитроны. На старом языке (в теории моря Дирака) речь шла о процессах выбивания электронов из «моря». Получались электрон и «дырка»,