

зования  $W$ - и  $Z$ -бозонов \*). События их рождения и распада нужно было выделить на фоне в сто миллионов раз большего числа событий рождения других частиц. Это оказалось возможным благодаря тому, что продукты лептонных распадов  $W$  и  $Z$ , рождающихся почти в покое, могут разлетаться под любыми углами к направлению сталкивающихся пучков протонов и антипротонов (рис. 28) и изолированы от адронных струй, а легкие частицы сохраняют направление движения, породивших их струй адронов.

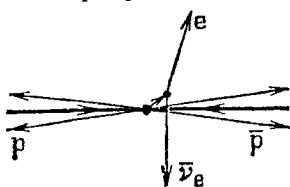


Рис. 28. Рождение  $W$ -бозона в столкновении протона  $p$  и антипротона  $\bar{p}$  на коллайдере наблюдали в событиях с одиночным электроном с большим импульсом и энергией, вылетающим под большим углом к сталкивающимся протону и антипротону. Поскольку  $\bar{\nu}_e$  от распада  $W$ -бозона в эксперименте не регистрируется, большой импульс электрона от распада  $W$ -бозона оказывается нескомпенсированным

кулярном пучку направлении был не скомпенсирован, поскольку нейтрино в установке не наблюдалось. Рождение  $Z$  наблюдалось по рождению пары  $e^+e^-$  и  $\mu^+\mu^-$ .

Измеряя энергию и импульс продуктов распада  $W$  и  $Z$ , можно было установить массу этих частиц. Измеренные значения массы  $W$ - и  $Z$ -бозонов точно соответствовали предсказанию теории.

### Предсказанное очарование

Обобщение теории Глешоу — Вайнберга — Салама на случай странных частиц приводило к явному противоречию. При таком обобщении в тео-

\*) У порога их образования в столкновении  $p$  и  $\bar{p}$  вероятность образования  $W$  и  $Z$  ничтожна. Эта вероятность становится заметной, если энергия столкновения одного кварка из  $p$  и одного антикварка из  $\bar{p}$  достигает порога рождения  $W$  и  $Z$ .

рии предсказывалось  $Z$ -взаимодействие с нейтральными токами перехода странных частиц в частицы с нулевой странностью. Из-за таких нейтральных токов с изменением странности был бы возможен, например, распад  $K^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ , причем вероятность этого распада была бы сравнимой по величине с вероятностью наблюдаемого  $K^+ \rightarrow \mu^+\nu$ -распада. На опыте распад  $K^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$  не наблюдался и с вероятностью на 8 порядков меньшей.

Чтобы спасти теорию Глешоу — Вайнберга — Салама от проблемы нейтральных токов с изменением странности, в ней приходилось предположить существование новых частиц, в состав которых входит новый четвертый  $c$ -кварк — очарованный кварк, похожий на  $u$ -кварк, как  $s$ -кварк похож на  $d$ -кварк.

Как показали в 1970 г. Глешоу, Иллиопулос и Майани, существование четвертого кварка обеспечивает дополнительную симметрию между слабыми переходами. Квантовая механика дает в этом случае два пути превращения  $K^0$  в  $\mu^+\mu^-$ , и интерференция этих каналов такая, что эффект резко уменьшается. Более того, сколько бы слабых переходов ни происходило в данном квантовом процессе, симметрия между токами переходов  $u$  и  $s$ , а также  $s$  и  $d$  обеспечивает компенсацию переходов, вызывающих распады типа  $K^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ . Из-за разности масс  $u$ - и  $s$ -кварков компенсация не точная, но вероятность такого распада достаточно сильно подавлена.

$Z$ -взаимодействие оказывалось чисто «диагональным». В теории Глешоу — Вайнберга — Салама нейтральные токи могли быть только процессами самопревращения частиц одного и того же типа, что и было подтверждено в эксперименте. Наблюдают нейтральные токи превращения  $e \rightarrow e$ , но не  $e \rightarrow \mu$  и т. п.

В отличие от странных частиц, существование очарованных частиц было теоретически предсказано, и их открытие в середине 70-х гг. (почти за десятилетие до открытия  $W$  и  $Z$ ) подтвердило, что принцип «бритвы Оккама» не следует превращать в принцип экономии на частицах.

### Предварительные итоги

Теории сильного и слабого взаимодействия, построенные по аналогии с электродинамикой, составляют «жесткую сердцевину» наших современ-