

рез сцинтилляционные счетчики 3 и 4, после чего попадал в большой черенковский счетчик 5. В черенковском счетчике антинейтроны аннигилировали с протонами и нейтронами вещества, образуя звезды из пионов. Событие приписывалось антинейтрону, если срабатывали счетчики 1, 2, 5 и не срабатывали (чтобы отсеять аннигиляцию \bar{p} в счетчике 5) счетчики 3 и 4.

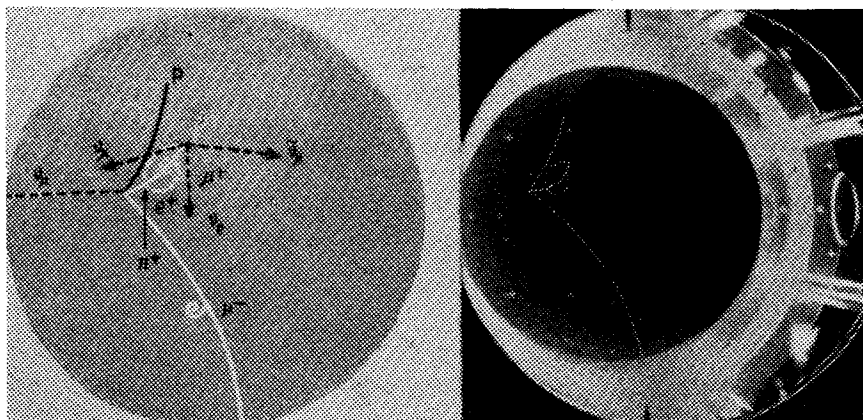
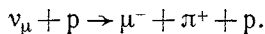


Рис. 9.30. Фотография процесса $\nu_{\mu} + p \rightarrow \mu^{-} + \pi^{+} + p$.

Самыми трудными для регистрации частицами являются нейтрино. Два опыта по регистрации нейтрино мы уже описали в § 4, пп. 5 и 11. Сейчас освоена регистрация нейтринных событий в больших пузырьковых камерах с использованием ускорителей высоких энергий.

На фотографии рис. 9.30 заснята реакция



Слева приведена схема этой реакции. Следы заряженных частиц, как всегда, изогнуты магнитным полем.

§ 6. Дополнительные сведения о приборах ядерной физики

1. Кроме источников и детекторов, в ядерной физике используется огромное количество других вспомогательных устройств. В этом параграфе мы перечислим некоторые из этих устройств, знание работы которых полезно для понимания других разделов книги.

2. Ядерная физика является сейчас одним из ведущих потребителей мощных высококачественных магнитов. Мы уже говорили

в § 2 о том, что стоимость большого циклического ускорителя в основном определяется стоимостью его магнита. В § 4, пп. 8 и 9 мы отмечали важную роль магнитного поля для следовых камер. Этим, однако, использование магнитов в ядерной физике не ограничивается. Магнитные (а также электрические) поля широко используются в качестве анализаторов и сепараторов различных частиц. К приборам такого типа относятся описанные в гл. II, § 3, п. 4 масс-спектрометры, а также β -спектрометры, магнитные γ -спектрометры, сепараторы пучков заряженных частиц в ускорителях.

Бета-спектрометр — это прибор для измерения энергетических спектров электронов, вылетающих из ядер при β -распаде или при внутренней конверсии. Схема одного из типичных β -спектрометров

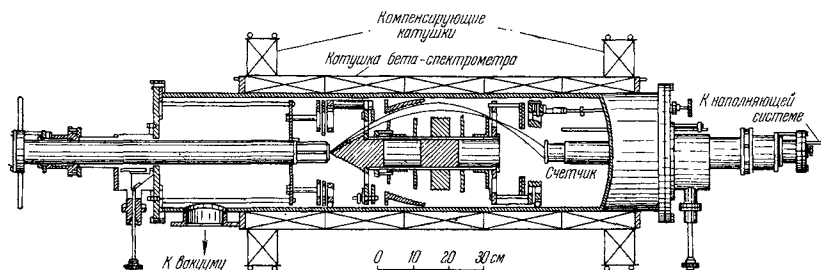


Рис. 9.31. β -спектрометр с продольным однородным магнитным полем и кольцевым фокусом.

приведена на рис. 9.31. Принцип действия β -спектрометра прост: вылетающие из исследуемого образца электроны системой электрических и магнитных полей фокусируются так, что в счетчик попадают электроны в узком интервале энергий. Изменением величины полей можно фокусировать на счетчик электроны разных энергий и тем самым измерить β -спектр.

Магнитные γ -спектрометры предназначены для измерения энергии γ -квантов. Они бывают разных типов. В комптоновском спектрометре γ -кванты выбивают комптон-электроны, которые фокусируются и регистрируются примерно так же, как в β -спектрометре.

В парном спектрометре (рис. 9.32) для регистрации используются электронно-позитронные пары. При этом электроны и позитроны также фокусируются магнитным полем и, кроме того, регистрируются по описанной в следующем пункте схеме совпадений.

Магнитные сепараторы используются для выделения из ультра-релятивистского пучка нужных частиц. Так, при столкновении с мишенью протонного пучка с энергией выше 10 ГэВ образуются

большое число самых разных частиц, летящих в основном вперед (это общий релятивистский эффект, см. гл. VII, § 4). Действуя на эти частицы сильным магнитным полем (слабое при таких энергиях не поможет), мы отклоняем заряженные частицы (так что вперед продолжают лететь только нейтральные) и разделяем их по массам. Именно таким образом получают пучки заряженных гиперонов, антипротонов и других заряженных частиц, которые по тем или иным причинам нельзя ускорять в первичном пучке.

3. Современный эксперимент по физике ядра или физике элементарных частиц характеризуется:

а) сложной логикой регистрации частиц. Действительно, выделение нужного события, например, в искровой камере предполагает предварительное срабатывание серии детекторов, координированные сигналы от которых запускают искровую камеру;

б) большим объемом информации, считываемой с измерительной аппаратуры;

в) автоматической обработке результатов измерений, что достигается включением электронно-вычислительной машины непосредственно в схему эксперимента (система «в линию»).

Поэтому современные эксперименты в физике элементарных частиц нельзя проводить без широкого использования надежной и высококачественной электроники. Мы не будем обсуждать здесь радиотехнические схемы (как правило, интегральные) электронной аппаратуры, а ограничимся перечислением основных блоков, из которых формируется электроника эксперимента:

а) Усилители импульсов, снимаемых с детекторов. Как правило, эти усилители не искажают форму входного сигнала.

б) Дискриминаторы — устройства, которые выдают стандартный импульс на входной сигнал, по величине больший некоторого порогового значения. Этот импульс, как правило, является коротким во времени (\sim нс) и имеет прямоугольную форму.

в) Разветвители — размножители входного импульса. Бывают разветвители логические (выдают стандартные сигналы) и аналоговые (размноженные сигналы имеют форму входного).

г) Схемы совпадений и антисовпадений, которые выдают сигнал при условии совпадения (или антисовпадения) во времени нескольких входных сигналов. Близкими по духу к схемам совпадения

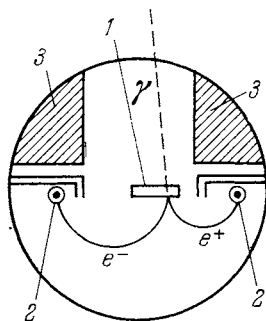


Рис. 9.32. Схема парного спектрометра.

На рисунке γ -квант порождает в мишени (1) пару $e^+ - e^-$. Энергия электронов и позитронов, попадающих в счетчики (2), определяется напряженностью магнитного поля; 3 — блоки вещества, экранирующие счетчики от γ -облучения

являются схемы пропускания («ворота»), пропускающие импульс только в том случае, когда на вход подан еще один импульс от какого-то другого устройства.

д) Схемы временной задержки. Эти схемы необходимы для правильной организации работы схем запаздывающих совпадений и антисовпадений.

е) Амплитудные анализаторы — устройства, осуществляющие анализ сигналов по их амплитудам. Как правило, амплитудные анализаторы имеют специальный «кодировщик», осуществляющий кодировку амплитуд сигналов на языке ЭВМ для их непрерывной обработки.