

# 1. ДЕТЕКТОРЫ ЧАСТИЦ

Информативность любого эксперимента определяется возможностями тех детекторов, которые в нём используются. История ядерной физики и физики элементарных частиц - история создания методов регистрации частиц.

Детекторы служат как для регистрации частиц, так и для определения их энергии, импульса, траектории движения частицы и других характеристик. Для регистрации частиц часто используют детекторы, которые максимально чувствительны к регистрации определенной частицы и не чувствуют большой фон создаваемый другими частицами.

Часто в экспериментах приходится выделять «нужные» события на гигантском фоне «посторонних» событий, которых может быть в миллиарды раз больше. Для этого используют различные комбинации счётчиков и методов регистрации, применяют схемы совпадений или антисовпадений между событиями, зарегистрированными различными детекторами, отбор событий по амплитуде и форме сигналов и т. д. Часто используется селекция частиц по времени пролёта ими определённого расстояния между детекторами, магнитный анализ и другие методы, которые позволяют надёжно выделить различные частицы.

Заряженные частицы довольно просто регистрируются ионизационными и сцинтилляционными детекторами или фотоэмульсиями (см. предыдущие лекции). Нейтральные частицы, например нейтрон или  $\Lambda$ -гиперон, непосредственно не вызывают ионизацию и возбуждение атомов среды. Однако они могут быть зарегистрированы в результате появления вторичных заряженных частиц, возникших либо в реакциях этих нейтральных частиц с ядрами среды, либо в результате распада этих частиц ( $p - \Lambda \rightarrow + \Pi$ ). Гамма-кванты также регистрируются по вторичным заряженным частицам – электронам и позитронам, возникающим в среде вследствие фотоэффекта, комптон-эффекта и рождения электрон-позитронных пар. Нейтрино, возникшее в результате реакции, в силу исключительно малого сечения взаимодействия со средой ( $\approx 10^{-20}$  барн) в большинстве случаев вообще не регистрируется детектором. Тем не менее, факт его появления может быть установлен. Дело в том, что ускользнувшее от непосредственного наблюдения нейтрино уносит с собой определённую энергию, импульс, спин, лептонный заряд. Недостачу обнаруживают, регистрируя все остальные частицы и используя законы сохранения энергии, импульса, момента количества движения, электрического заряда, лептонного заряда и др. Такой анализ позволяет не только убедиться, в том, что нейтрино действительно образовалось, но и установить его энергию и направление вылета из точки реакции. Быстрораспадающиеся частицы детектор «не успевает» зафиксировать. В этом случае они регистрируются по продуктам распада.

При определенных условиях траекторию пролетающей заряженной частицы можно сделать видимой. Этот способ реализуется в так называемых трековых детекторах.

**Трековые детекторы** - группа детекторов, в которых при прохождении заряженной частицы возникает визуально наблюдаемый след (трек) этой частицы.

Трековые детекторы сыграли выдающуюся роль в силу наглядности и возможности получения исчерпывающей пространственной картины изучаемого процесса. Благодаря этим детекторам были открыты ядерные распады и реакции, частицы (позитрон, мюон, заряженные пионы, странные и очарованные частицы).

В трековых детекторах след частицы визуально наблюдаем. В то же время есть группа детекторов (многопроволочная пропорциональная камера, дрейфовая камера, полупроводниковый микростриповый детектор и некоторые другие), в которых треки частиц ненаблюдаемы, но с высокой точностью фиксируются их пространственные координаты. Детекторы такого типа мы будем называть **координатными**.

Микростриповые детекторы, а также прецизионные многослойные пропорциональные камеры и дрейфовые камеры часто используют в качестве *центральных* (или *вершинных*) детекторов, непосредственно окружающих мишень (или место столкновения пучков в коллайдерах). Центральные детекторы играют важную роль в современных экспериментах на ускорителях высоких энергий. Они фиксируют с почти 100%-ной вероятностью продукты взаимодействия пучка с мишенью практически в точке их зарождения и определяют направление их вылета. Более габаритные детекторы, окружающие центральный детектор, предназначены для идентификации этих родившихся и вторичных частиц и определения их характеристик (координат, импульсов, энергий и др.).

**Табл.1.** Типичные пространственные и временные характеристики трековых и координатных детекторов

Тип детектора	Пространственное разрешение, мм	Временное разрешение, сек	Мертвое время, сек
Эмульсии	$10^{-3}$	-	-
Камера Вильсона	0.3	0.1	0.01

Диффузионная камера	0.5	1	-
Пузырьковая камера	0.1	$10^{-3}$	0.1
Искровая камера	0.1-0.3	$10^{-6}$	$10^{-8}$
Стримерная камера	0.2-0.3	$2 \cdot 10^{-6}$	0.1
Пропорциональная камера	0.05-0.3	$10^{-9}-10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
Дрейфовая камера	0.1-0.2	$2 \cdot 10^{-9}$	$10^{-7}$
Кремниевые микроstriпы	0.01-0.02	$10^{-8}$	$10^{-8}$

Типичные пространственные и временные характеристики трековых и координатных детекторов  
Детекторы характеризуются следующими параметрами:

- Пространственное разрешение — точность локализации места прохождения частицы в детекторе.
- Временное разрешение — минимальный интервал времени между прохождением двух частиц, которые регистрируются как отдельные события.
- Мёртвое время — интервал времени после регистрации частицы, в течение которого детектор остается нечувствительным к регистрации следующей частицы.
- Эффективность регистрации — вероятность регистрации частицы при попадании её в рабочий объем детектора.