

в нижеприведенной таблице, в которой z выражает относительное число рассеянных частиц, измеренное как число сцинтилляций в минуту на экране из сернистого цинка.

Металл	Атомный вес	z	$z/A^{3/2}$
Свинец	207	62	208
Золото	197	67	242
Платина	195	63	232
Олово	119	34	226
Серебро	108	27	241
Медь	64	14,5	225
Железо	56	10,2	250
Алюминий	27	3,4	243
Среднее			233

По теории однократного рассеяния доля общего числа альфа-частиц, рассеянных под данным углом по прохождении слоя вещества толщиной t , пропорциональна величине $n \cdot A^2 t$, если принять, что центральный заряд пропорционален атомному весу A . В рассматриваемом случае толщина слоя вещества, из которого рассеянные альфа-частицы способны вылетать и действовать на экран из сернистого цинка, зависит от природы металла. Поскольку Брэгг показал, что тормозящая способность атома по отношению к альфа-частице пропорциональна квадратному корню из атомного веса, значение nt для различных элементов пропорционально величине $1/\sqrt{A}$. В данном случае t выражает максимальную глубину, с которой отбрасываемая альфа-частица способна вылететь. Таким образом, число z альфа-частиц, рассеянных толстым слоем назад, пропорционально $A^{3/2}$, откуда следует, что $z/A^{3/2}$ должно быть постоянным.

Для сопоставления этого вывода с экспериментальными данными в последнем столбце таблицы приведены относительные значения рассматриваемого отношения. Учитывая трудности, связанные с проведением описываемых опытов, согласие между теорией и опытом можно считать удовлетворительным *).

II. Пузырьковые камеры

Можно составить представление об уровне экспериментальных исследований на передовой линии современной физики, рассмотрев работу системы из пузырьковой камеры и связанных с ней цифровых счетно-решающих устройств, использованной при открытии многих из нестабильных частиц **).

Пузырьковая камера способна обнаружить трек заряженной частицы и фиксировать его с точностью до 25 микрон. Она была изобретена в 1952 г. Дональдом Глейзером и работает следующим образом. При прохождении частицы сквозь вещество она ионизует некоторые из ближайших атомов и сообщает некоторую кинетическую энергию отскакивающим электронам. При замедлении этих электронов их кинетическая энергия обуславливает местный нагрев жидкости. Если жидкость уже была перегрета и ищет себе места, где бы начать закипать, она и

*) В проделанном расчете влияние изменения скорости при встрече с атомом не учитывалось.

***) Соответствующий материал можно почерпнуть из неопубликованных частей рукописи статьи «Сильно взаимодействующие частицы» («Strongly Interacting Particles»), написанной в 1963 г. Дж. Чу, М. Гелл-Манном, А. Розенфельдом.

будет закипать в этих отдельных нагретых местах. Образующимся пузырькам дают возможность расти в течение нескольких миллисекунд, после чего производятся световая вспышка, и они фотографируются одновременно под несколькими различными углами, так что их положение в пространстве может быть воспроизведено стереографически.

В ранних пузырьковых камерах перегретая жидкость представляла собой несколько кубических сантиметров углеводорода, кипящего при подходящих температуре и давлении. Однако специалисты по элементарным частицам предпочитают изучать взаимодействие с простейшей из возможных мишеней — с отдельным нуклоном. Поэтому они теперь направляют свои пучки внутрь больших количеств жидкого водорода и исследуют взаимодействие частиц с отдельными протонами. Около 1955 г. физиками нескольких лабораторий были разработаны водородные пузырьковые камеры объемом до литра, и вскоре стало ясно, что можно заставить работать камеры и большего объема.

Затем возникла проблема интерпретации и промера треков. Водород со своей изолирующей вакуумной системой всегда помещается в сильное магнитное поле, изгибающее траектории заряженных частиц. Измеряя кривизну треков, можно вычислять импульсы частиц. Однако даже самые сильные достижимые магнитные поля способны изгибать треки частиц высоких энергий лишь на углы порядка 10° . Для достаточно высокого разрешения импульсов (и, следовательно, энергий) необходимо измерять эти малые кривизны с точностью до нескольких процентов. Это означает, что мы должны измерять координаты точек фотографического изображения трека с точностью до нескольких микрон на пленке шириной в несколько сантиметров. Требуется, следовательно, точность, соответствующая относительной ошибке в одну десятитысячную. Измерения должны быть быстрыми и надежными, так как каждая камера диаметром в несколько футов способна выявить до 100 000 интересных событий в год. Каждое событие (превращение) может потребовать промера до пяти треков в двух-трех стереографических проекциях; в сумме это составляет до миллиона промеров треков в год. Старомодный микроскоп должен быть автоматизирован, и его работа должна быть ускорена.

Наибольший вклад в дело развития крупных водородных пузырьковых камер и анализирующих систем, не отстающих от развития камер, был сделан Л. У. Альваресом и его группой в Радиационной лаборатории им. Лоуренса в Беркли. Первый вариант их установки для обследования треков, названный «франкенштейном», представлял собой сервоагрегат чудовищной сложности стоимостью в 100 000 долларов. Он снабжен проекционной оптической системой, позволяющей оператору наблюдать за событием по картине, проектируемой с фотоснимков. Стоит только совместить крест нитей (оптическую ось) с какой-либо точкой трека, как сервомеханизм позволяет оператору «вести» эту ось по треку автоматически (с такой же точностью, с какой машинист ведет поезд по железнодорожному пути), записывая в то же время автоматически последовательные координаты на перфокартах или на бумажной перфоленте. При работе в течение примерно 120 часов в неделю эта установка промеряет около 30 000 событий в год.

Программирование вычислительных устройств для анализа выходных данных «франкенштейна» было осуществлено физиками нескольких университетов. Существует три фазы этого анализа: пространственная фиксация отдельных треков; кинематический анализ итогов событий и событий в целом; статистический анализ данных всего опыта. Фиксация треков является прямым применением стереографической техники. Программа фиксаций предусматривает вычисление направления и импульса для каждого трека, а также пределов погрешности этих характеристик и их корреляцию. Программа кинематического анализа событий, получившая название «Кик» («Kick»), специально составлена для физики элементарных частиц.

В результате проверки многих гипотез о реакциях между элементарными частицами программа «Кик» обычно обеспечивает их отбор или по крайней мере значительно сокращает число неоднозначностей. Программы фиксации треков и «Кик» содержат около 10 000 команд и написаны для вычислительных устройств фирмы IBM серий 704, 709, 7090 и т. д. По этим программам обработка типичного события вычислительным устройством серии 7090 занимает около четырех секунд. Обработка данных пузырьковых камер производится в настоящее время на

нескольких подобных вычислительных устройствах, работающих в США и Европе непрерывно. Работу такого вычислительного устройства можно коммерчески оценить примерно в один миллион долларов в год.

В период с 1955 по 1959 г. размер водородных пузырьковых камер, вводимых в эксплуатацию во всем мире, быстро возрастал. В 1959 г. для обслуживания бэватрона в Беркли была запущена камера длиной в 180 см. К началу 1960 г. скорость обработки ее данных достигла одного события за каждые несколько минут; программы вступили в действие, и вычислительное устройство успевало обрабатывать не только поступающие данные, но и, задним числом, пленки, снятые за истекший год.

Установки с пузырьковыми камерами действуют теперь при всех крупных ускорителях и в период с 1961 по 1963 г. выявили около дюжины новых частиц. К 1963 г. более половины частиц было рассортировано по всем квантовым числам, а остальные находились в разных стадиях уточнения. Все они, кроме одной, нестабильны. Характерно, что еще в 1961 г. физиками лаборатории Hopkins/Northwestern при обработке пленки от бэватрона был открыт новый стабильный мезон — η -синглет. В конце 1963 г. 180-сантиметровая камера в Беркли была превзойдена двухметровой камерой Национальной лаборатории в Брукхэвене.

Весь период развития пузырьковых камер — от открытия их принципа (в 1952 г.) до выявления серии новых частиц буквально конвейерным порядком (1961 г.) — занял около 10 лет. Это может служить иллюстрацией сложности экспериментальной работы в области физики элементарных частиц. Аналогичным образом, открытие антипротона, сделанное в 1955 г., было результатом принятого в 1948 г. решения строить бэватрон — первый ускоритель, способный сообщать протонам достаточную энергию для искусственного образования антипротонов. Как видно, десять лет — не слишком долгий период для приведения в исполнение крупного проекта в области техники исследования элементарных частиц.