

539.12

О ПУТЯХ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**Н. А. Добротин**

Характерной особенностью современной науки является резкое сокращение времени, протекающего между открытием нового явления и его использованием в практике. Разделение науки на «чистую» и прикладную, столь отчетливо выраженное в XIX в., становится в наши дни все более условным и иллюзорным.

И наряду с этим, как бы в противоречие с такой тенденцией, имеет место бурное развитие физики частиц высоких энергий, сопровождаемое строительством все более мощных и соответственно все более дорогих ускорителей. По имеющимся сведениям, правительство США предполагает в ближайшие годы отпустить на физику частиц высоких энергий 400 млн. долларов в год. Вопрос о программе работ в этой области становится предметом обсуждения не только ученых, но и парламентов разных стран и широких кругов общественности.

Чем же объясняется такое положение? Одно время эксперименты, проводимые на ускорителях, были тесно связаны с физикой атомного ядра и атомной энергетикой. Но сейчас этот период уже позади. Иногда, обсуждая вопрос о частицах высокой энергии, подчеркивают, что открытие античастиц в принципе позволяет использовать всю энергию вещества. Однако если говорить о сколько-нибудь обозримом будущем, такое использование ее возможно лишь в качестве «научной основы» фантастических романов. Пока же не видно для этого даже отдаленных перспектив. Конечно, можно привести много примеров из истории науки, когда, казалось бы, самые абстрактные знания через некоторое время начинают приносить практическую пользу. Не исключена возможность каких-то совершенно новых открытий и в физике частиц высоких энергий, которые в корне изменят всю ситуацию. Но в данном случае дело не в таких надеждах. Довольно ясно, что эта область приобрела столь большое значение прежде всего потому, что она является экспериментальной основой науки об «элементарных частицах», играющей роль фундамента всего колоссального и столь быстро строящегося здания науки о природе. Изучение основных законов природы теснейшим образом связано с изучением «элементарных частиц» и проблемой структуры их.

Оглядываясь на путь, пройденный физикой частиц высоких энергий, легко различить две тенденции в этой области науки. С одной стороны, каждый раз, когда исследования переходили в еще неизученную область более высоких энергий, открывались новые факты первостепенного значения. Так было открыто большинство «элементарных частиц», установлены многие их свойства (в том числе принципиально новое явление распада частиц), открыто множественное рождение частиц в одном акте и многое другое. Эта линия развития прежде всего связана с космическими лучами.

С другой стороны, часто не менее важные открытия делались в области далеко не самых высоких энергий, доступных в данный период для детального изучения. Это достигалось в результате появления новых идей и, что, конечно, очень важно, использования новых, более совершенных и точных методов и средств исследования. Так было, например, при открытии несохранения четности, при открытии резонансов и др. Эта линия развития характерна в первую очередь для исследований, проводимых с ускорителями.

При работе с ускорителями успех в значительной мере определяется интенсивностью и чистотой сепарированных пучков частиц, использованием больших детекторов (например, больших жидководородных пузырьковых камер), соответствующей электроники, в сочетании с автоматами и счетными машинами для обработки получаемых экспериментальных данных.

Как известно, у нас в стране в районе Серпухова полным ходом идет сооружение самого большого в мире ускорителя, который будет давать протоны с энергией 70 Гэв. Но это всего только в 2 с небольшим раза больше, чем энергия протонов, получаемых в Брукхейвене и ЦЕРНе (а в с. п. м. повышение энергии — всего на 50%). Мало вероятно, чтобы на этот узкий интервал энергий приходился бы порог какого-то нового важного процесса, оставшегося незамеченным в космических лучах (например, рождение *W*-бозона или так называемых кварков).

Вместе с тем и из опытов с ускорителями, и особенно из работ с частицами космических лучей ясно, что все характеристики взаимодействий ядерноактивных частиц (сечение, состав вторичных частиц и их энергетический спектр, угловое распределение, поперечные импульсы, коэффициент неупругости и т. п.) меняются с изменением энергии первичной частицы весьма медленно. Не изменится существенным образом по сравнению с существующими ускорителями для Серпуховской установки и ситуация с асимптотическими значениями сечений. Поэтому успех при работе с Серпуховским ускорителем не придет автоматически.

Возможность открыть новые важные факты будет в значительной мере определяться тем, насколько интенсивность и чистота пучков частиц различной природы, быстрдействие и прецизионность аппаратуры будут превосходить то, чем будут располагать в соответствующий момент другие ускорительные установки, и тем, какие новые идеи будут положены в основу экспериментов.

Сейчас и в Советском Союзе, и за рубежом идет оживленное обсуждение вопроса о строительстве «нового поколения» ускорителей на энергиях 200—300 и даже 1000 Гэв.

Вопрос этот является очень сложным. С одной стороны, ясно, что стоимость таких ускорителей чрезвычайно высока. По оценке американских ученых, сооружение кольцевого ускорителя на 400 Гэв будет стоить около 300 млн. долларов. Очень высока также стоимость аппаратуры для работы с ускорителем и эксплуатация его. С другой стороны, успехи в разработке новых методов исследований в космических лучах (ионизационный калориметр, большие камеры Вильсона, большие эмульсионные стопки, искровые камеры разных типов, опыты на спутниках) позволяют измерить в области энергий в сотни Гэв и величину сечения неупругого взаимодействия с точностью до нескольких процентов и надежно определить целый ряд важнейших характеристик картины взаимодействия.

Сейчас на высокогорной станции по изучению космических лучей на Тянь-Шане запущена первая очередь установки для изучения нуклон-нуклонных взаимодействий при энергиях 300—500 Гэв. Установка представляет собой камеру Вильсона, помещенную в магнитное поле, в сочетании с большим ионизационным калориметром. Изучаемые взаимодей-

ствия генерируются в мишени из гидрида лития, расположенной над камерой Вильсона. Картина в камере дает возможность определить число, углы вылета и импульсы вторичных заряженных частиц для взаимодействия, имевшего место в мишени, а пюнизационный калориметр — полную энергию первичной частицы (с точностью 10—20%) и долю энергии, переданной π^0 -мезонам. В дальнейшем установка будет дополнена еще двумя большими камерами Вильсона для установления природы первичной частицы и определения числа и углов вылета π^0 -мезонов.

Более или менее аналогичная установка, но еще большего размера, запускается сейчас в Грузии.

Работа этих установок даст возможность получить надежное распределение взаимодействий по значениям коэффициентов неупругости, будет выявлена роль центральных и периферических взаимодействий, роль фэйр-боллов, резонансов и изобар в рождении вторичных частиц, изучен механизм образования фэйр-боллов и т. п.

Большие возможности открывают опыты в космических лучах и в отношении поисков новых частиц с такими большими массами, которые не могут быть получены с помощью современных ускорителей ($M > (3 \div 4) M_{\text{нукл}}$). Успехи теории элементарных частиц показывают, что существование новых классов частиц — таких, как кварки или W -бозоны, — в том числе и частиц с большими массами, ни в коем случае нельзя считать исключенным. Напротив, такие поиски в космических лучах становятся сейчас особенно актуальными, и они уже начаты в целом ряде лабораторий.

Положение сейчас таково, что вопрос о точности и надежности данных, которые можно получить в космических лучах в области энергий в сотни $Gэв$, по сути дела определяется финансированием соответствующих исследований (причем, в значительно меньшем масштабе, чем это требуется для сооружения и использования соответствующих ускорителей). В США в Мичиганском университете проф. Л. Джонсом разработан проект установки (стоимостью ~ 20 млн. долларов), которую предполагается установить на высокогорной станции. По оценкам автора проекта, она будет регистрировать около 2000 взаимодействий в водороде в месяц при энергии $\sim 300 Gэв$. Импульс первичной частицы будет измеряться с точностью 1,5—2%; при этом протоны в первичном излучении будут практически нацело отделяться от π -мезонов. Результаты, которые будет давать эта установка (если она будет на самом деле создана), по своей точности, по-видимому, будут приближаться к тому, что может давать ускоритель в этой области энергий.

Совсем новые возможности открывает для исследований ядерных взаимодействий в космических лучах запуск космических кораблей, способных нести сложную и тяжелую аппаратуру. Следует при этом помнить, что интенсивность космических лучей за пределами атмосферы в сотни раз выше, чем на уровне моря; кроме того, в космосе частицы космических лучей попадают в аппаратуру «в одиночку», без сопровождения, что существенно облегчает их изучение.

Опыты с частицами космических лучей перестают играть роль только разведки в новой, неисследованной области и начинают давать надежную количественную информацию при энергиях в сотни $Gэв$. Много такой информации уже получено. Таким образом, с нашей точки зрения решение о строительстве ускорителя протонов с энергией в сотни $Gэв$ является оправданным лишь в том случае, если будут предложены важные эксперименты, для которых недостаточно энергии 70 $Gэв$ и которые, с другой стороны, не могут быть выполнены в космических лучах.

Вместе с тем специфической особенностью космических лучей является быстро падающий энергетический спектр их частиц. В связи

с этим переход от энергий, скажем, в 300 Гэв к энергиям в 1000 Гэв связан с уменьшением получаемого статистического материала на целый порядок величины.

Таким образом, экспериментальные данные, которые получают и могут быть в ближайшем будущем получены в космических лучах при энергиях $>1000 \text{ Гэв}$, имеют заметно более качественный характер, чем при энергии всего в несколько раз меньшей. Поэтому создание ускорителей на наиболее высокие энергии, с нашей точки зрения, является особенно важным и перспективным. При этом надо еще иметь в виду, что стоимость сооружения очень больших ускорителей растет с ростом энергии ускоряемых частиц не линейно, а заметно медленнее.

Говоря о направлениях исследований по физике частиц высоких энергий, нельзя не отметить проблему μ -мезонов. Как известно, до сих пор не найдено никаких других взаимодействий μ -мезонов, кроме электромагнитных. По существу, в современной таблице элементарных частиц μ -мезон занимает то же самое положение, что и электрон. Вместе с тем массы этих частиц отличаются в двести с лишним раз.

С этой точки зрения, большой интерес представляет изучение μ -мезонов, обладающих очень высокой энергией. В опытах по широким атмосферным ливням, вызываемым первичными частицами с энергией 10^{14} эв и выше, были обнаружены группы μ -мезонов. Вопрос о происхождении их окончательно еще не выяснен, но возможно, что здесь имеет место непосредственная генерация нескольких μ -мезонов высоких энергий в одном акте или образование их через распад каких-то еще неизвестных короткоживущих частиц. К сожалению, изучение μ -мезонов высоких энергий с помощью ускорителей весьма затруднено, так как уже при энергии 100 Гэв распадный пробег μ -мезона составляет $\sim 5 \text{ км}$. Таким образом, μ -мезоны таких энергий практически могут изучаться только в космических лучах.

Весьма перспективным и совсем новым аспектом физики частиц высоких энергий является физика нейтрино. Уже первый этап исследований в этом направлении привел к открытию факта первостепенной важности — нейтрино двух типов.

Опыты с нейтрино, конечно, чрезвычайно трудны и дороги. Но они уже сейчас проводятся в большом масштабе с помощью ЦЕРНовского и Брукхейвенского ускорителей, позволяющих изучать взаимодействия с веществом нейтрино с энергиями до 10 Гэв . Учитывая, что сечение взаимодействия растет с ростом энергии, очень большое значение имеют опыты при еще более высоких энергиях с нейтрино космических лучей (образованными в атмосфере за счет π -распада). Для избавления от фона нейтринные опыты в космических лучах должны проводиться на очень больших глубинах под землей, с детекторами площадью в сотни квадратных метров. Такие опыты уже начаты несколькими группами физиков в США. Нет сомнения в том, что работы по физике нейтрино будут развиваться быстрыми темпами во все возрастающих масштабах и что они сыграют первостепенную роль в решении проблемы слабых взаимодействий.

Из сказанного видно, что для дальнейшего успешного развития физики частиц высоких энергий необходимо не только использовать уже созданные методы исследования, установки и аппаратуру, но и разрабатывать новые идеи и пути исследования, особенно в области наиболее высоких энергий. Среди этих новых путей весьма важное место занимают космические лучи. Наряду с работой на ускорителях предельно больших энергий, опыты в космических лучах должны проводиться значительно более широким фронтом, чем это делалось до сих пор.