ГЕОРГИЙ ТИМОФЕЕВИЧ
ЗАЦЕПИН

1977 г. Май *Том 122, вып. 1(500)*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

PERSONALIA

53(092)

ГЕОРГИЙ ТИМОФЕЕВИЧ ЗАЦЕПИН

(К шестидесятилетию со дня рождения)

Георгий Тимофеевич Зацепин — крупный советский физик, член-корреспондент АН СССР, специалист в области космических лучей, физики высоких энергий и нейтринной астрофизики.

Он родился 28 мая 1917 г. в семье известного в Москве хирурга. Медицина — потомственная профессия в семье Зацепиных, и только рано осознанное призвание к физике побудило Георгия Тимофеевича отклониться от этой семейной традиции. После средней школы он поступает на физический факультет Московского университета и оканчивает его с отличием в 1941 г. по специальности «атомное ядро и радиоактивность».

С 1944 г., после перерыва в научной работе в течение нескольких военных лет, Г. Т. Зацепин — в аспирантуре ФИАН. Его руководитель — Дмитрий Владимирович Скобельцын, тема исследования — широкие атмосферные ливни космических лучей. В это время определяется основное направление работы Г. Т. Зацепина и формируются его научные интересы и методы исследования. В 1950 г. он защищает кандидатскую диссертацию на тему «Высотный ход и спектр плотностей широких атмосферных ливней», а в 1954 г. докторскую «Широкие атмосферные ливни и ядерно-каскадный процесс». В своей работе Г. Т. Зацепин совершенствует экспериментальную технику для получения все более и более подробной информации о каждом индивидуальном событии. Вначале этот подход получил название метода коррелированных годоскопов. В дополнение к измерению плотности потока электронов включаются также детекторы, специально настроенные на регистрацию мюонов и «ядерно-активных» частиц ливня. Для изучения потоков энергии в центральной части ливня Г. Т. Зацепин развивает методику больших ионизационных камер. Вначале свои основные эксперименты Г. Т Зацепин проводит на высокогорной Памирской станции ФИАНа, а в дальнейшем участвует в создании в МГУ уникальной комплексной установки для изучения широких атмосферных ливней космических лучей на уровне моря.

Главной целью, которую преследовал Г. Т. Зацепин в этих работах, было выяснение характера элементарных процессов взаимодействия частиц космических лучей при очень высоких энергиях. Эта задача и с позиции современных знаний и при современной технике представляется невероятно трудной и требует соединения глубокой интуиции с самым строгим анализом сложных экспериментальных данных. Г. Т. Зацепину удалось не только создать это новое направление, но и получить ряд важных результатов о характере взаимодействия частиц при высоких энергиях. Это стало возможным благодаря предложенной им в 1949 г. идее ядерно-каскадного процесса. Разработанный метод количественных расчетов (метод последовательных поколений) позволил связать наблюдаемые экспериментальные данные с предположениями о характеристиках элементарного акта взаимодействия частиц. В 1951 г. за открытие ядерно-каскадного процесса Г. Т. Зацепину, совместно с Д. В. Скобельцыным и Н. А. Добротиным, была присуждена Государственная премия СССР I степени.

Ядерно-каскадная схема позволила не только объяснить наблюдавшиеся Г. Т. Зацепиным и другими авторами отклонения характеристик широких атмосферных ливней от предсказаний электромагнитной каскадной теории (аномальный высотный ход, аномальная ширина, наличие проникающих и «ядерно-активных» частиц), но, что более важно, связать воедино экспериментальные данные из всего огромного диапазона энергий первичных космических лучей от 10^{10} до 10^{15}—10^{16} *эв* и трактовать их с единой точки зрения. Основные выводы из этого анализа, сформировавшиеся в середине 50-х годов, были следующие: 1) Первичными частицами при всех наблюдае-

© Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», «Успехи физических наук», 1977 г.

мых энергиях являются протоны с примесью ядер более тяжелых атомов. 2) Сечение взаимодействия протонов с ядрами атомов воздуха приблизительно постоянно и во всяком случае не убывает с ростом энергии. 3) При взаимодействии нуклона высокой энергии с ядром первичный нуклон после столкновения сохраняет 50% своей начальной энергии, т. е. коэффициент неупругости равен 0,5. 4) Среди рожденных при взаимодействии пионов наиболее энергичный уносит в среднем 15% полной начальной энергии. 5) Наблюдаемые в глубине атмосферы мионы возникают в основном в результате распада заряженных пионов и при этом энергетический спектр одиночных мюонов оказывается подобен степенному спектру первичных частиц, пока вероятность распада пионов близка к 1. 6) Наблюдаемая электронно-фотонная компонента образуется за счет практически мгновенного распада нейтральных пионов. В широком атмосферном ливне, когда энергии заряженных пионов очень велики и вероятность их распада мала, бóльшая часть ядерного каскада необратимо переходит в электронно-фотонную компоненту.

Интересно отметить, что идея о постоянстве эффективного сечения взаимодействия, среднего значения коэффициента неупругости в столкновениях нуклон — нуклон и нуклон — ядро и вероятности генерации пионов с энергией, составляющей заметную долю от полной, которая, начиная с работ Г. Т. Зацепина, уже более двадцати лет использовалась и другими авторами в области космических лучей — эта идея фактически полностью соответствует так называемой модели «скейлинга» в сильных взаимодействиях, сформулированной Р. Фейнманом в 1969 г. на основе уже гораздо более точных и подробных данных ускорительных экспериментов. Разумеется, установление феноменологических характеристик множественного рождения частиц в космических лучах за десять лет до появления ускорительных данных было несравненно более сложным делом и проходило в горячих спорах. В дискуссиях на эту тему на семинаре по космическим лучам в ФИАНе, на всесоюзных и международных конференциях Г. Т. Зацепину принадлежала ведущая роль. Он доказывает несоответствие экспериментальных данных популярной в то время гидродинамической модели Ферми — Ландау и для объяснения наблюдаемого коэффициента неупругости выдвигает гипотезу об ограниченности передаваемого импульса в нуклон-нуклонном взаимодействии. Георгия Тимофеевича привлекает предложенная Менсовичем модель файерболов, но он подчеркивает, что нуклоны и лидирующие пионы должны рассматриваться вне файерболов и для их описания кинематически подходит модель возбужденных нуклонов (изобар). В настоящее время, когда с помощью ускорителей при энергии до 10^{12} *эв* все характеристики множественного рождения измеряются с высокой точностью, можно только удивляться, что основные идеи описания этого процесса получили лишь сравнительно небольшие изменения.

В начале 60-х годов научные интересы Г. Т. Зацепина смещаются в область электромагнитных и слабых взаимодействий и изучения мюонов и нейтрино в космических лучах. Для развертывания работ по этим темам в 1963 г. в ФИАНе организуется специальная лаборатория (с 1971 г. в составе Института ядерных исследований). По физике мюонов космических лучей Г. Т. Зацепиным выполнены расчеты энергетического и углового распределения мюонов на основе модели «скейлинга» и впервые решена задача о поглощении мюонов высокой энергии в больших толщах грунта с учетом флуктуаций их энергетических потерь. Анализ таким путем кривой поглощения привел его к выводу о согласии экспериментальных и расчетных данных вплоть до энергии мюонов 10^{13} *эв*. Между тем в конце 60-х годов в ряде лабораторий, как в СССР, так и за рубежом, накопились данные о значительных аномалиях в угловом распределении, энергетическом спектре и взаимодействии мюонов при энергии $\sim 10^{12}$ *эв*. Г. Т. Зацепин ставит два эксперимента для выяснения истины. В первом из них измеряется сечение генерации мюоном ядерного каскада. Идентификация этого процесса производится с помощью оригинальной методики, впервые разработанной в лаборатории для этой цели, в которой используются большие сцинтилляционные детекторы нейтронов. Эксперимент показал постоянство сечения и отсутствие аномалии.

Второй эксперимент большого масштаба с участием Г. Т. Зацепина был организован в МГУ для проверки углового распределения и энергетического спектра мюонов с помощью методики рентгено-эмульсионных камер. Результат — отсутствие каких-либо аномалий как в угловом распределении, так и в спектре мюонов вплоть до энергии 10^{13} *эв*. Допустимая доля мюонов от «прямой генерации» составляет менее 0,5%. Таким образом, Г. Т. Зацепиным была внесена ясность в этот дискуссионный вопрос и показано, что до энергии 10^{13} *эв* модель «скейлинга» хорошо описывает генерацию пионов и каонов космическими лучами в атмосфере.

Значительный интерес проявил Г. Т. Зацепин к идее изучения нейтрино, образующихся параллельно с мюонами при распаде пионов и каонов в атмосфере. Выполненные им детальные расчеты энергетических спектров нейтрино явились основой при планировании экспериментальных работ и при анализе результатов, полученных в глубоких шахтах Индии и Южной Африки. Основной интерес вызывал вопрос, растет ли сечение взаимодейст ия мюонного нейтрино с нуклоном пропорционально

энергии нейтрино, а если рост сечения прекращается, то при какой энергии? Некоторые экспериментаторы были склонны интерпретировать свои данные в пользу существования легкого промежуточного бозона, ограничивающего рост сечения при энергии 30—50 *Гэв*. Но детальное сопоставление результатов экспериментов с расчетами, произведенное Г. Т. Зацепиным, привело его к выводу, что сечение взаимодействия нейтрино — нуклон растет с ростом энергии: $\sigma \sim (0{,}55 \pm 0{,}2)\cdot 10^{-38}E$ (где E — в *Гэв*, σ — в *см*^{2}) по крайней мере до энергии 100 *Гэв*. Эти данные космических лучей не сильно отличаются от результата недавних прямых измерений на ускорителе в Батавии $\sigma \sim (0{,}83 \pm 0{,}11)\cdot 10^{-38}E$ до энергии 200 *Гэв*.

Наряду с изучением мюонов и нейтрино космических лучей, уже в процессе создания лаборатории у Г. Т. Зацепина возникает новая тема, которая в дальнейшем становится для него основной. Речь идет о разработке методов регистрации нейтрино внеземного происхождения с целью получения астрофизической информации. Малость сечения взаимодействия нейтрино вызывает огромные трудности при их детектировании, но, с другой стороны, делает возможным получение уникальной информации, недостижимой другими методами. В первую очередь — это регистрация нейтринного излучения Солнца. Г. Т. Зацепиным показано, что, применяя нейтринные детекторы с различным энергетическим порогом, в принципе можно не только проверить главную гипотезу о синтезе ядер гелия из водорода, как источнике солнечной энергии, но и определить ряд важных элементов структуры центральной области Солнца, в частности, температуру. Под руководством Г. Т. Зацепина в его лаборатории была проведена разработка методики регистрации солнечных нейтрино, анализ фона различных детекторов, макетирование некоторых из них, методы защиты от внешних излучений и др. Оказалось, что технически задача является очень трудной, но разрешимой, если пользоваться радиохимическим методом, проводить эксперимент на большой глубине под землей (для защиты от фона мюонов космических лучей) и экранировать детектор от радиоактивных излучений горной породы достаточно чистыми материалами. Ввиду важности этого направления Академией наук СССР было принято решение о строительстве специальной подземной лаборатории на Северном Кавказе, которая сейчас сооружается Институтом ядерных исследований АН СССР. Осуществление этого проекта создаст уникальные возможности для проведения подземных физических экспериментов большого масштаба в условиях низкого фона. Результаты первого эксперимента по детектированию солнечных нейтрино, выполненного в США Р. Дэвисом с помощью хлор-аргонового метода, предложенного Б. Понтекорво, показали, что эффект существенно меньше ожидаемого теоретически и что надо значительно увеличить чувствительность нейтринного детектора. Именно такой эксперимент проектировался в лаборатории Г. Т Зацепина еще до того, как появились загадочные результаты Р. Дэвиса, поставившие с особой остротой вопрос о более фундаментальном подходе к проблеме детектирования нейтрино от Солнца. Г. Т. Зацепин планирует провести в будущей подземной лаборатории расширенный хлор-аргоновый эксперимент и осуществить новый метод — галлий-германиевый, впервые предложенный в его лаборатории. Результат галлий-германиевого эксперимента слабо зависит от деталей модели Солнца, но отвечает на вопрос, служат ли вообще термоядерные реакции источником солнечной энергии в данное время?

Проблема регистрации солнечных нейтрино является фундаментальной, но не единственной возможностью «заглянуть» в недра звезды.

В 1965 г. Г. Т. Зацепин обращает внимание на возможность регистрации всплеска нейтринного излучения, возникающего при гравитационном коллапсе звезды, если коллапс звезды произойдет в пределах нашей Галактики. Как впервые показано Гусейновым и Зельдовичем, излучение нейтрино при коллапсе звезды не есть некий сопутствующий процесс, а фактически определяет динамику коллапса. Г. Т. Зацепин выступил инициатором создания программы международного сотрудничества для организации службы наблюдения за нейтринными вспышками. В 1977 г. начнутся коррелированные наблюдения с помощью 100-тонного сцинтилляционного детектора, построенного в лаборатории Г. Т. Зацепина и ряда других подземных детекторов, расположенных на территории Италии и США.

Основные возможности «наблюдательной нейтринной астрофизики», которую развивает Г. Т. Зацепин, связаны с нейтрино небольшой энергии, генерируемыми в недрах звезд. Однако в последние годы он обращает внимание на то, что не исключена возможность получения новой астрофизической информации и от нейтрино высоких энергий, потому что нейтрино не поглощаются при взаимодействии с реликтовым излучением даже за космологические времена. Статья на эту тему публикуется в этом же номере УФН. Интересно отметить факт более чем двадцатилетней давности, когда Г. Т. Зацепин заметил, что космическое пространство при наличии электромагнитного излучения перестает быть полностью прозрачным для частиц достаточно высокой энергии. В 1955 г. он пишет статью о расщеплении ультрарелятивистских ядер космических лучей при столкновении с фотонами солнечного света. Когда было открыто реликтовое (3 °K) излучение, Г. Т. Зацепин сразу же обратил внимание на то, что взаимодействие с этим излучением должно за время существования Вселенной привести

к обрезанию энергетического спектра космических лучей при энергии протонов выше $5 \cdot 10^{19}$ *эв*. В связи с этим в Австралии, Англии, СССР и США были созданы гигантские установки для изучения «верхней границы» энергетического спектра космических лучей.

33 года работы Георгия Тимофеевича Зацепина в области космических лучей были в высокой степени плодотворны. Его идеи по ряду направлений определили развитие этой области физики на протяжении многих лет и получили международное признание. Большой вклад внес он также в подготовку специалистов по космическим лучам в нашей стране. Педагогическая работа Георгия Тимофеевича не ограничивается обязанностями профессора кафедры космических лучей МГУ и занятиями со студентами и аспирантами, а распространяется гораздо шире как на молодых сотрудников его лаборатории, так и на сотрудников смежных лабораторий, многие из которых считают себя учениками Г. Т. Зацепина.

Сейчас, когда перед Георгием Тимофеевичем стоит сложная задача развития нового направления — нейтринной астрофизики, задача создания уникального комплекса подземных лабораторий и нейтринных детекторов невиданных ранее размеров,— желаем ему здоровья и крупных успехов в этом большом деле.

С. Н. Вернов, М. А. Марков, А. Е. Чудаков