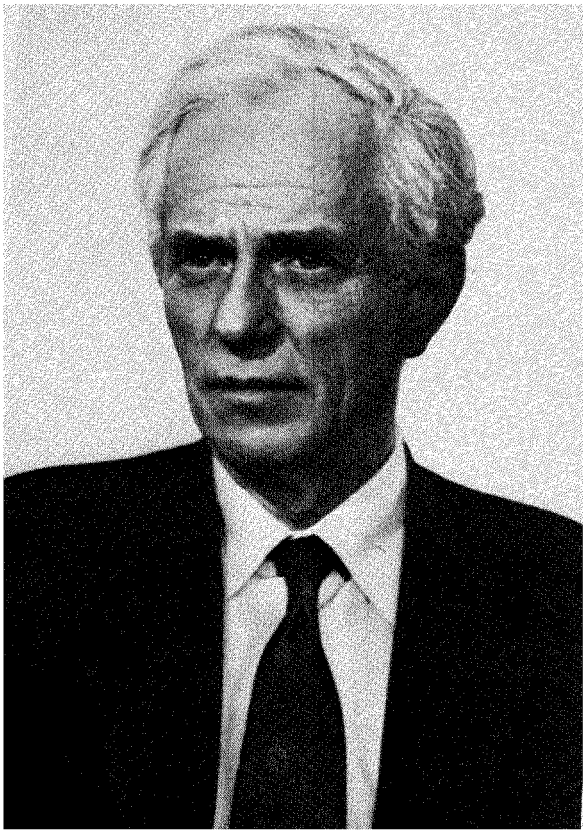

АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ
ЧУДАКОВ

1981 г. Июль *Том 134, вып. 3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

PERSONALIA

53(092)

АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ ЧУДАКОВ

(К шестидесятилетию со дня рождения)

Александр Евгеньевич Чудаков — известный ученый, член-корреспондент АН СССР, специалист в области физики космических лучей и элементарных частиц.

А. Е. Чудаков — физик-экспериментатор с равноправными ударениями на первом и втором слове. Широчайшая образованность, способность видеть самую сущность физического явления и поразительная ясность мышления в сочетании с блестящим инженерным талантом определяют роль А. Е. Чудакова в развитии исследований по физике космических лучей и элементарных частиц.

Он родился 16 июня 1921 г. в Москве в семье известного инженера и ученого, основоположника автомобильного дела в СССР академика Е. А. Чудакова. Получив в юности широкое и разностороннее образование, Александр Евгеньевич рано осознал круг своих интересов и в 1939 г. после окончания средней школы поступил на физический факультет МГУ. Очень скоро был призван для прохождения действительной военной службы, а после демобилизации поступил работать радиотехником в лабораторию колебаний Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. В 1944 г., с возобновлением занятий в МГУ, Александр Евгеньевич возвращается на второй курс физического факультета и заканчивает его с отличием в 1948 г.

Окончательный выбор специальности был сделан А. Е. Чудаковым в 1946 г., когда он, будучи еще студентом МГУ, включился в ФИАНе в работу группы, перед которой была поставлена задача изучения космических лучей с помощью ракетной техники. Здесь впервые проявился характер А. Е. Чудакова, которого всю жизнь будет интересовать не только конечный результат, но и метод исследования, и которого наличие технических препятствий на пути к цели будет привлекать, а не отпугивать.

Для проведения ракетных исследований А. Е. Чудакову предстояло разработать не только аппаратуру для регистрации космических лучей, размещаемую на ракете, но и методы передачи информации по радио на землю, включая оригинальные способы кодирования, приемные и передающие антенны, наземную фоторегистрацию и т. д. Многие методы, такие, как, например, преобразование амплитуда — время — код, теперь общепринятые, были впервые разработаны А. Е. Чудаковым специально для этих экспериментов. Это был очень напряженный труд, если учесть, что срок, отведенный на подготовку первых экспериментов, составлял немногим более года.

В этих работах была измерена интенсивность космических лучей за пределами атмосферы и получены первые ограничения на поток γ-квантов с энергиями ~ 1 МэВ и ~ 100 МэВ. Методом измерения так называемого переходного эффекта в тонких слоях свинца было обнаружено образование электронно-фотонной компоненты первичными частицами (протонами) в плотном веществе. Отсюда, за два года до открытия на ускорителях π^0-мезона, был сделан вывод о том, что мезон, ответственный за образование фотонов и электронов, имеет время жизни менее 10^{-9} с. Последний ракетный эксперимент был выполнен в 1951 г., и по результатам этих работ в 1953 г. А. Е. Чудаковым была защищена кандидатская диссертация.

В 1949 г. Александр Евгеньевич обращает внимание на то, что при высоких энергиях должно наблюдаться ослабление ионизации, вызываемой e^+e^--парой, за счет взаимного экранирования полей электрона и позитрона. Этот эффект, известный как «эффект Чудакова», использовался в свое время для измерения энергии электронно-позитронных пар при изучении ядерных взаимодействий методом фотоэмульсий.

Верный своему принципу выбора наиболее прямых путей исследования физического явления (которые, как правило, оказываются и наиболее технически сложными), Александр Евгеньевич начинает в 1953 г. изучение черенковского свечения широких атмосферных ливней. Это потребовало разработки техники скоростного осциллографирования одновременно по 8-ми независимым каналам и создания методики изучения

фотоэлектронных умножителей в наносекундном диапазоне (для этой цели впервые была применена маломощная искра в качестве короткого светового сигнала). В этом эксперименте он реализует идею «калориметрического» измерения энергии каскада путем регистрации черенковского излучения и впервые экспериментально измеряет соотношение между энергией каскада и наблюдаемым числом частиц. Это позволило, в частности, определить наклон энергетического спектра первичных частиц в широком диапазоне энергий в районе 10^{15} эВ. Результаты этого эксперимента в течение почти двадцати лет оставались непревзойденными — случай, довольно редко встречающийся в современной ядерной физике.

В качестве попутной работы при подготовке этого эксперимента в 1953 г. изучалось «ионизационное свечение»— люминесценция воздуха под действием ионизирующего излучения. Эффект исследовался при различных давлениях, и неожиданно было обнаружено, что и при полной откачке сосуда наблюдается слабое свечение. Исследуя его природу, А. Е. Чудаков устанавливает дополнительные металлические фольги на пути электронов и приходит к выводу, что обнаруженное им явление представляет собой переходное излучение, возникающее при пересечении электрическим зарядом границы раздела двух сред. Это явилось первым экспериментальным подтверждением существования эффекта переходного излучения, предсказанного в 1945 г. в работе В. Л. Гинзбурга и И. М. Франка. Несколько позднее в 1958—1960 гг. Александр Евгеньевич вновь возвращается к этому вопросу и проводит подробное исследование переходного излучения в оптическом диапазоне. Сейчас переходное излучение широко используется для идентификации быстрых заряженных частиц, а также для изучения оптических свойств поверхностей. Само «ионизационное свечение» воздуха оказалось достаточно малым и практически не служит помехой для «черенковских» экспериментов, однако его изотропия позволяет, в принципе, регистрировать очень большие ШАЛ на очень больших (порядка десяти километров) расстояниях. В настоящее время это предложение А. Е. Чудакова в несколько модифицированной форме реализуется в ряде лабораторий мира.

Продолжением «черенковской» темы в работах А. Е. Чудакова явилось создание в 1957—1960 гг. первого водяного черенковского калориметра. Содержавший 100 тонн воды, это был также наибольший детектор своего времени. В 1960—1963 гг. методом регистрации черенковского излучения в атмосфере был осуществлен поиск локальных источников жестких γ-квантов. Созданный в Крыму под руководством А. Е. Чудакова телескоп обладал большой светосилой и позволял регистрировать в небольшом телесном угле ($\sim 10^{-3}$ стер) широкие атмосферные ливни, вызываемые частицами с энергиями $\geqslant 2{,}5 \cdot 10^{12}$ эВ. Никакого эффекта обнаружено не было. Поток γ-квантов в направлении на исследовавшиеся источники (в том числе Крабовидную туманность) не превышал уровня изотропного фона и составлял менее 10^{-9} фотонов$\cdot$см$^{-2}$с$^{-1}$. Это ограничение оставалось наиболее сильным в течение десяти лет и послужило неопровержимым аргументом против гипотезы о вторичном происхождении релятивистских электронов в Крабовидной туманности. Разработанная А. Е. Чудаковым методика исследования потоков γ-квантов высоких энергий нашла впоследствии широкое применение в работах советских и зарубежных физиков.

В 1957 г. с запуском первых искусственных спутников Земли открываются новые возможности для изучения космических лучей с помощью ракетной техники, и Александр Евгеньевич вновь активно включается в эту работу. Разработанная им в кратчайшие сроки аппаратура была установлена на Третьем советском искусственном спутнике и зарегистрировала наличие двух зон высокой интенсивности заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли. В этом и ряде последующих экспериментов была изучена пространственная структура радиационных поясов и их динамика, исследован состав частиц, выполнено измерение энергетического спектра электронов и т. д. За этот цикл исследований А. Е. Чудакову была присуждена в 1959 г. степень доктора физико-математических наук, и он был удостоен Ленинской премии «за открытие и исследование внешнего радиационного пояса Земли» (1960 г.).

В хронике развития физики XX века рубеж 50-х — 60-х годов отмечен осознанием возможности непосредственного изучения нейтрино высоких энергий в экспериментах в космических лучах и на ускорителях. Исследование природных потоков нейтрино требовало создания глубоко под поверхностью Земли невиданных по своим масштабам детекторов со сложной системой управления, обеспечивающей надежную идентификацию редких (несколько десятков в год) событий от нейтрино в условиях высокой интенсивности мюонов космических лучей.

Такая задача, находившаяся на пределе технических возможностей того времени, не могла не привлечь Александра Евгеньевича, и он с головой окунается в эту работу. В 1963 г. в связи с решением о создании Нейтринной станции ФИАН на Северном Кавказе (теперь Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований АН СССР) он начинает разрабатывать проект подземного сцинтилляционного телескопа для изучения мюонов и нейтрино в составе космических лучей. Едва ли не главная трудность состояла в том, что масштабы детектора, до сих пор не имеющего себе равных в мировой практике, требовали таких технических решений, которые были бы

не только экономически приемлемы, но, что гораздо сложнее, могли бы быть реализованы в условиях серийного производства и промышленных методов сооружения установки. Так, несмотря на то что выделение событий от нейтрино должно осуществляться путем измерения времени пролета мюона между слоями детектора, Александр Евгеньевич находит возможность ограничиться созданием счетчиков с невысоким временным разрешением, достаточно простых в изготовлении и удобных в эксплуатации. В его лаборатории и под его непосредственным руководством разрабатывается и изготавливается оригинальная электронная система, которая позволила впервые решить задачу сбора информации одновременно от более чем 3000 фотоэлектронных умножителей. Под его руководством успешно разрабатывается технология и организовывается массовое производство дешевого жидкого сцинтиллятора, что позволило обеспечить потребности не только данного эксперимента (в установке используется 330 тонн сцинтиллятора), но и других физических лабораторий страны.

Сцинтилляционный телескоп был запущен в 1978 г. Для нашего времени пятнадцать лет, отделяющих первоначальный проект от его исполнения,— это очень большой срок. Тем более он велик, когда речь идет об экспериментальной ядерной физике. И поэтому можно только удивляться тому, до какой степени гибкой и совершенной была разработанная А. Е. Чудаковым первоначальная схема детектора, если, едва вступив в строй, он не только изменил уровень результатов в «своих» областях физики космических лучей, но и оказался самым приспособленным в мире устройством для исследования таких проблем, которые вообще не стояли перед экспериментальной ядерной физикой в начале 60-х годов во время проектирования сцинтилляционного телескопа.

Так, последние годы во многих лабораториях мира в экспериментах на реакторах, ускорителях и в космических лучах ведется проверка гипотезы Б. М. Понтекорво о существовании осцилляций между различными сортами нейтрино. Выполненные на сцинтилляционном телескопе измерения интенсивности потока мюонных нейтрино, образующихся при взаимодействии первичных космических лучей с атмосферой Земли и проходящих через всю толщу земного шара, позволили сделать вывод, что интенсивность потока этих нейтрино не претерпевает заметных изменений на длине 10 тыс. км. Это позволило установить (для случая максимального смешивания двух сортов нейтрино) наиболее сильное на сегодняшний день ограничение на разность квадратов масс $(m_1^2 - m_2^2) \leqslant 6 \cdot 10^{-3}$ эВ^2.

В середине 70-х годов в центре внимания физики элементарных частиц оказалась проблема стабильности протона. Распад протона с нарушением барионного числа оказался единственным доступным в настоящее время для непосредственной экспериментальной проверки предсказанием моделей объединения слабых, электромагнитных и сильных взаимодействий. Данные, полученные за последние четыре месяца работы сцинтилляционного телескопа, показывают, что время жизни нуклонов относительно безнейтринных каналов распада превышает 10^{30} лет, что уже существенно выше наиболее вероятного предсказания широко обсуждаемой в настоящее время минимальной стандартной модели объединения.

Работы на подземном сцинтилляционном телескопе начинают набирать силу и ведутся одновременно по многим программам. В первую очередь это — интереснейшая и увлекательнейшая задача поиска локальных внеземных источников нейтрино высоких энергий (остатки сверхновых, пульсары, ядро Галактики и т. д.); изучение вариаций космического излучения с энергией 10^{13} эВ, имеющее принципиальное значение для построения картины происхождения космических лучей; поиск всплесков нейтринного излучения от гравитационных коллапсов звезд; изучение каскадов, вызываемых мюонами, и параллельных групп мюонов, вызываемых первичными космическими лучами очень высоких энергий, вплоть до 10^{16} эВ, когда более 100 мюонов падают на установку. Есть основания надеяться, что изучение групп мюонов поможет установлению химического состава космических лучей в этой области энергий. Уже простой перечень этих программ говорит об универсальности созданного инструмента и показывает огромные возможности исследований в космических лучах при правильной организации эксперимента.

В период разработки и строительства сцинтилляционного телескопа Александр Евгеньевич полностью концентрирует свои усилия на решении методических и организационных вопросов, и поэтому в это время активные физические исследования вынужденно отходят для него на второй план. Тем не менее в целях приобретения опыта работы с создаваемой для телескопа аппаратурой и, главным образом, для обучения своих молодых сотрудников он ставит в это время ряд интересных экспериментов. Так, многим, наверное, памятны бурные дискуссии вокруг появившихся в начале 70-х годов указаний на резкое возрастание сечения взаимодействия мюонов с веществом в области энергий 300—400 ГэВ. Измерения отношения числа останавливающихся мюонов к числу проходящих через вещество, выполненные А. Е. Чудаковым в 1972 г. в подземных помещениях строившейся тогда Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ АН СССР, не подтвердили существования этого эффекта. Там же несколькими годами позже им создается наземная установка для изучения структуры ШАЛ,

состоящая из расположенных вплотную друг к другу 400 сцинтилляционных детекторов общей площадью 14 × 14 м² и представляющая собой точную копию одного слоя сцинтилляционного телескопа. Дополненная выносными детекторами, расположенными по окружности радиусом 35 м, эта установка является уникальным инструментом для изучения пространственной структуры стволов широких атмосферных ливней. Зарегистрированные в этом эксперименте многоствольные события показывают, что при энергии 10^{14} эВ сечение взаимодействия с большими переданными импульсами резко возрастает. Это подтверждает предсказания квантовой хромодинамики в области энергий, пока недоступной для исследования на ускорителях.

Работая над созданием телескопа, Александр Евгеньевич одновременно ищет пути дальнейшего развития исследований мюонов и нейтрино в космических лучах. В середине 60-х годов он предлагает проект большой глубоководной установки для изучения мюонов на озере Байкал. Эта идея начинает сейчас реализовываться в рамках общего развертывания работ по глубоководной регистрации мюонов и нейтрино.

Работы А. Е. Чудакова пользуются широкой известностью. По проложенным им путям ведутся исследования во многих физических лабораториях мира. Он является признанным авторитетом в области космических лучей и экспериментальной ядерной физики, членом многих проблемных и квалификационных научных советов, членом комиссии по космическим лучам Международного союза чистой и прикладной физики. Будучи профессором МГУ, он уже около 25 лет ведет подготовку специалистов в области экспериментальной ядерной физики. Но не только этим определяется роль А. Е. Чудакова в развитии физики космических лучей. Человек, органически не терпящий даже малейших следов фальши в любых ее проявлениях, всегда абсолютно искренний в своих оценках, крайне требовательный к себе и к своей работе, он всей своей деятельностью оказывает огромное влияние на формирование склада мышления, научного мировоззрения и стиля работы многих поколений физиков, работающих в области космических лучей.

Ученый с мировым именем, руководящий большими коллективами людей, заваленный массой нужных и ненужных дел, он по-прежнему сохраняет способность к полной мобилизации своего замечательного таланта, когда на горизонте появляется какая-нибудь особенно интересная и особенно трудная экспериментальная задача, и только от решения таких задач получает истинное удовольствие. Сохранение этого бесценного качества и дальнейших успехов желают Александру Евгеньевичу все его друзья, коллеги и ученики.

С. Н. Вернов, Г. В. Домогацкий,
Г. Т. Зацепин, М. А. Марков