1977 г. Ноябрь *Том 123, вып. 3*

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

537.591(09)

50-ЛЕТИЕ ОСНОВОПОЛАГАЮЩЕГО ОТКРЫТИЯ ФИЗИКИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

С. Н. Вернов, Н. А. Добротин

В 1977 г. исполняется 50 лет со времени публикации знаменитой статьи Д. В. Скобельцына [1] («Die Intensitätsverteilung in dem Spektrum der γ-Strahlen von RaC»). В этой статье были обнаружены заряженные частицы космических лучей и выяснены их свойства. Она сыграла определяющую роль в ряде областей физики. До нее космические лучи (КЛ) изучались как некоторое геофизическое явление. Работами Гесса и в особенности Кольхерстера и Милликена было детально изучено, как поглощаются КЛ в атмосфере Земли, в воде и других поглотителях. Существование нового источника ионизации воздуха было установлено вполне надежно. Было ясно, что первопричиной является излучение, приходящее на Землю из космоса. Но никто из физиков того времени не смог ответить на, казалось бы, основной вопрос; а что же именно производит ионизацию воздуха?

В то время уже была создана камера Вильсона — один из самых замечательных физических приборов, впервые позволивший увидеть пути отдельных элементарных частиц. Камера Вильсона тогда была весьма капризной, и только очень немногие физики умели справляться с трудной задачей проведения экспериментов с этим прибором. И лишь после работ Д. В. Скобельцына она нашла себе достаточно широкое применение.

С 1923 г. Д. В. Скобельцын в лаборатории своего отца в Ленинградском политехническом институте и в Физико-техническом институте начал изучать один из элементарных актов микромира — эффект Комптона — с помощью камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле. По современным масштабам магнитное поле было весьма невелико ($\sim$1000э). Однако для изучения комптон-эффекта, т. е. для изучения характеристик электронов, выбиваемых γ-лучами радиоактивных веществ, это поле было достаточно, так как максимальная энергия электронов не превышала нескольких *Мэв*.

Целью знаменитой работы Д. В. Скобельцына [1], начатой в 1923 г., было изучение электронов отдачи от γ-лучей. Впервые в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле, ему удалось непосредственно наблюдать и фотографировать пути электронов отдачи, получающиеся в результате столкновения γ-квантов с электронами из атомов газа, наполнявшего камеру. Эти исследования дали не только прямые подтверждения гипотезы о квантовой природе эффекта Комптона, но и позволили очень эффективно применять это явление для спектроскопии γ-лучей.

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

Самое главное, что в этой работе был обнаружен (сначала лишь один) след частицы, которую никак нельзя было приписать радиоактивным веществам. Дело в том, что эта частица не отклонялась магнитным полем, что приводило к выводу о ее небывалой по тем временам энергии — свыше 20 *Мэв*. В дальнейшем было установлено, что таких частиц не так уж мало, а самое главное, что они появляются группами (статья «Über eine neue Art sehr schneller β-Strahlen» [2]). Конечно, эти группы состояли из небольшого числа частиц. Но Д. В. Скобельцын умел делать количественные выводы из своих работ даже, казалось бы, на небольшом, но зато надежном, экспериментальном материале. Проанализировав свои данные, он с полной наглядностью показал, что найденное им число групп частиц, особенно если учесть направление их движения, несравненно превосходит все то, что можно было ожидать на основании статистических соображений.

Д. В. Скобельцын смог также доказать, что общее число следов частиц, обладающих энергией больше 20 *Мэв*, как раз таково, что объясняет ионизацию, создаваемую КЛ. Таким образом, им была впервые вскрыта причина ионизации атмосферы Земли КЛ. Прошло 15 лет со времени открытия Гессом и Кольхёрстером ионизации, вызываемой КЛ, до установления ее причины Д. В. Скобельцыным.

Итак, Д. В. Скобельцын открыл заряженные частицы космических лучей и появление их группами (ливнями).

Для того чтобы обнаружить такое редкое явление на фоне многих других, потребовалось большое экспериментальное искусство. Прецизионные (по тому времени) измерения импульсов частиц позволили с полной надежностью отделить следы частиц космических лучей от следов электронов отдачи.

Перечитывая сейчас, через 50 лет, его работы, удивляешься смелости их замысла, искусству и интуиции их автора, глубине проведенного им анализа.

И сейчас мы с полным правом можем сказать, что физика высоких энергий ведет свое начало от этих работ Д. В. Скобельцына.

Основным принципом работы школы Д. В. Скобельцына является требование к каждому экспериментатору детально изучать теорию. Как считает он сам и сейчас считают его многочисленные ученики, число которых (считая четыре поколения) выражается трехзначной цифрой, ни один экспериментатор не имеет права принимать выводы теории на веру. Чтобы эффективно проверять теорию, ее надо хорошо чувствовать, понимать. Это очень трудно, и мы неоднократно это испытывали на себе. Действительно, понимание многих теорий обязательно требует большего знания математики, чем ею обычно владеют экспериментаторы. Но это не всегда так. Очень часто, а Д. В. Скобельцын это показал многими примерами, теорию можно упростить так, чтобы ее суть можно было объяснить «на пальцах».

Принцип работы Д. В. Скобельцына и его школы состоял именно в том, что никогда нельзя оставлять без внимания расхождения между теорией и экспериментом. Но для этого, во-первых, надо твердо знать, чему равны ошибки эксперимента, и, во-вторых, к чему могут привести ошибки толкования и погрешности теории.

Нам представляется, что ярким примером такого подхода к теории и эксперименту является анализ точности результатов, даваемых электронно-фотонной каскадной теорией. Различные варианты каскадных теорий давали форму каскадной кривой, но утверждали, что высота ее максимума определяется лишь с так называемой логарифмической точностью. Д. В. Скобельцын показал, что, применяя закон сохранения

энергии, можно простым путем увеличить точность теории на один порядок.

По нашему мнению, такое «взаимопроникновение» теории и эксперимента крайне важно; в какой-то мере во всем мире оно стало общепризнанным. Экспериментаторы затрачивают много труда, чтобы понять основную сущность теории. Одновременно многие теоретики научились схватывать суть задач и даже возможностей экспериментальной физики. И действительно, в настоящее время теоретики во многих случаях стали руководителями крупных научных коллективов по физике высоких энергий в СССР и за рубежом.

Работы Д. В. Скобельцына вызвали очень большой резонанс в научном мире того времени. Достаточно упомянуть, что в пространной статье одного из создателей квантовой механики В. Гейзенберга [3] детально обсуждаются результаты работы Д. В. Скобельцына и на их основе строятся новые гипотезы.

Роль этих работ наглядно демонстрируется также, когда мы рассматриваем эксперименты Андерсона и Ниддермайера, Блекетта и Оккиалини [4] по открытию первой античастицы — позитрона. Сами указанные выше авторы признавали, что их работы навеяны работами Д. В. Скобельцына.

Особо интересно отметить оценки пионерских работ Д. В. Скобельцына, сделанные спустя много лет. Так, в 1948 г. в журнале Rev. Mod. Phys. Эпштейн в статье, названной «Милликен как физик и учитель» [5], писал, что Милликен с характерной для него интуицией увидел, что в опытах Д. В. Скобельцына открывается новая область исследования, и дал Андерсону тему об изучении частиц КЛ в камере Вильсона, помещенной в значительно более сильное магнитное поле. Это и привело к открытию позитрона.

Открытие первой античастицы — позитрона сопровождалось рядом любопытных подробностей. Осенью 1931 г. учитель Андерсона Милликен выступил с лекциями в ряде научных центров Европы и, в частности в Париже. На своих лекциях он демонстрировал полученные в его лаборатории в Калифорнии фотографии следов частиц космического излучения в камере Вильсона, помещенной в сильное магнитное поле. По знаку кривизны этих следов можно было установить, что они вызваны частицами с положительным знаком заряда. Поэтому Милликен интерпретировал наблюдения Андерсона как открытие протонов в составе КЛ *).

Существование позитрона вытекало из теории Дирака, опубликованной в 1930 г. [6]; но к этому выводу его теории физики относились в то время с недоверием (которое, по-видимому, разделял и сам автор теории). Авторам калифорнийской работы, очевидно, пришлось преодолеть определенный барьер сомнений, прежде чем выступить с сообщением об открытии позитрона. Первая короткая заметка об этом появилась лишь летом 1932 г. в журнале «Science».

Большую роль в изучении частиц высоких энергий и, в частности, КЛ сыграли цилиндрические счетчики. Установки со счетчиками всегда готовы к действию и могут надежно работать в течение длительного времени. Но это «слепые» приборы. Для того чтобы правильно интерпретировать полученные с ними результаты, необходимо их «оплодотво-

---

*) Д. В. Скобельцын получил сообщение о лекциях Милликена от Ф. Жолио-Кюри и М. Кюри из Франции и от Л. Х. Грея из Англии (эти письма сохранились). Переписываясь в этой связи с Ф. Жолио-Кюри, Д. В. Скобельцын обратил его внимание на то, что сообщенные им данные о значениях $H\rho$-следов, демонстрировавшихся Милликеном, исключают возможность приписывать эти следы протонам.

рить» с помощью такой методики, где все было бы видно. Именно поэтому широкое использование счетчиков для работ по КЛ развернулось после описываемых работ Д. В. Скобельцына.

В известной работе Боте и Кольхёрстера [7] было впервые показано, что частицы космических лучей проходят через заметные толщи вещества (в этой работе 4,1 *см* золота). Эти авторы начинают свою работу с подробного описания снимков Д. В. Скобельцына, и совершенно ясно, что именно эти снимки навели их на мысль осуществить свой эксперимент. Впоследствии работы Боте и Кольхёрстера были развиты Росси. Толщина свинца между счетчиками телескопа Росси была доведена до 1 *м*. С другой стороны, Росси, располагая счетчики в треугольник, изучал группы частиц, открытые Д. В. Скобельцыным, или, как мы их сейчас называем, ливни частиц КЛ.

В своей широко известной монографии «Космические лучи», вышедшей в 1936 г., Д. В. Скобельцын не только проанализировал все имевшиеся тогда данные по физике высоких энергий и КЛ, но и вскрыл возникшие трудности в их изучении и кажущиеся противоречия, а также наметил направления дальнейших исследований.

В работах, последовавших за основополагающим открытием, Д. В. Скобельцын и его школа очень детально изучали образование ливней, состоящих из многих миллионов частиц, так называемых широких атмосферных ливней (ШАЛ). Эти исследования привели к открытию ядерно-каскадного процесса.

В то время (конец 40-х годов) было общепринятым считать, что гигантские ливни (ШАЛ) возникают как электронно-фотонные, путем многократного каскадного повторения процессов тормозного излучения и образования пар электронов и позитронов. В противоположность этому, Д. В. Скобельцын и его ученики предложили совсем иной процесс — ядерно-каскадный. Этот процесс состоит из каскадного повторения генерации так называемых ядерно-активных частиц (в основном π-мезонов).

Коллектив физиков, руководимый Д. В. Скобельцыным, создал общую картину прохождения КЛ через атмосферу и происходящих при этом процессов. Она стала потом общепризнанной. Итог этого этапа работы был подведен Д. В. Скобельцыным в его речи на годичном собрании Академии наук СССР в 1950 г.

В этой речи указывалось, что, когда первичная частица КЛ достаточно высокой энергии попадает в атмосферу, в первом акте взаимодействия она образует весьма ограниченное число вторичных частиц (в подавляющей части π-мезонов), причем коэффициент неупругости оказывается равным 0,5 или даже меньше. Уже в те годы было ясно, что вероятность взаимодействия (сечение) если и зависит от первичной энергии, то достаточно слабо.

В настоящее время в СССР вблизи г. Якутска создана установка общей площадью около 20 квадратных километров, предназначенная для изучения частиц сверхвысоких энергий 10^{19}—10^{20} *эв*. Результаты изучения ШАЛ на Тянь-Шане, в МГУ и в Якутске приводят к весьма важному выводу, что при энергии 10^{14}—10^{15} *эв* вступают в силу новые закономерности.

50-летие работы Д. В. Скобельцына совпадает с 85-летием патриарха физики высоких энергий. Мы очень рады, что свое 85-летие наш учитель встречает в отличной форме. Достаточно упомянуть, что в 1977 г. в УФН опубликована его статья (без соавторов), посвященная глубоким теоретическим вопросам.

Роль Д. В. Скобельцына в развитии советской науки далеко выходит за рамки физики космических лучей. Созданная Д. В. Скобельцыным

большая научная школа охватывает многие разделы ядерной физики. Достаточно вспомнить, как В. И. Векслером был открыт принцип автофазировки — основной принцип работы всех современных ускорителей В. И. Векслер, по образованию инженер-электрик, поступил к Д. В. Скобельцыну в докторантуру, и учитель вооружил ученика своим методом, научил его не бояться теории, а наоборот творчески ее развивать. Он также очень много помогал В. И. Векслеру в создании ускорителей и в проведении исследований с ними. Установленный В. И. Векслером принцип автофазировки правильно рассматривается как триумф школы Д. В. Скобельцына.

Когда советская наука потеряла великого ученого-патриота С. И. Вавилова, именно Д. В. Скобельцын смог заменить его на посту директора ФИАН. Он был директором ФИАН в течение 22 лет (с 1951 по 1973 г.) и, сохранив традиции С. И. Вавилова, творчески развил их в новых условиях. Наградой Д. В. Скобельцыну было создание в СССР квантовой электроники. Хотя он сам и не является автором ни одной из статей по квантовой электронике, но это выдающееся достижение советской науки во многом обязано Д. В. Скобельцыну, как директору крупнейшего физического института. В первых опытах А. М. Прохорова, а затем в знаменитых работах Н. Г. Басова и А. М. Прохорова Д. В. Скобельцын первый увидел будущий важнейший раздел науки и техники. Его мнение тогда мало кто разделял. Но он оказался прав.

В заключение статьи нельзя не упомянуть о том, что Д. В. Скобельцын создал Научно-исследовательский институт ядерной физики МГУ, который, помимо выполнения ряда важных научных работ, подготовил для нашей страны с 1946 г. по настоящее время более 3000 специалистов по ядерной физике.

Поздравляя Д. В. Скобельцына с 50-летием его открытия и 85-летием со дня рождения, мы желаем ему новых творческих успехов и от имени всей его школы обещаем ему в нашей работе всегда руководствоваться его принципами и методами.

Физический институт им. П. Н. Лебедева
АН СССР
Научно-исследовательский институт
ядерной физики МГУ

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. D. W. Skobeltzin, Zs. Phys. **43**, 354 (1927).
2. D. W. Skobeltzin, ibid. **54**, 686 (1929).
3. W. Heisenberg, Ann. d. Phys. **13**, 430 (1932).
4. P. Blackett, J. Occhialini, Proc. Roy. Soc. **A139**, 699 (1933).
5. P. S. Epstein, Rev. Mod. Phys., **20** (1), 10 (1948).
6. P. A. M. Dirac, Proc. Roy. Soc. **A126**, 360 (1930).
7. W. Bothe, W. Kolchörster, Zs. Phys. **56**, 751 (1929).