

Ранняя стадия изучения частиц космического излучения*

**(Сборник "50 лет современной ядерной физике", Москва, Энергоатомиздат, 1982.)*

Д.В.Скобелецын

Ниже кратко изложены "личные воспоминания", относящиеся к "доисторическому" периоду исследования космического излучения и написанные, вероятно, старейшим из живущих участников научных событий того времени. В 1927 г. в работе /1/ автора этой статьи были опубликованы фотографии треков вторичных электронов, образованных пучком $\rightarrow$ -излучения в камере Вильсона, помещенной в магнитное поле. На одной или двух из этих фотографий были обнаружены треки одной или двух частиц необычно высокой энергии, не связанные с пучком $\rightarrow$ -излучения. Последующие наблюдения показали относительно частое появление подобных треков и крайне своеобразную особенность - появление групп одновременных, коррелированных треков.

Я начал изучение $\rightarrow$ -излучения (а затем и космического излучения) в конце 1923 г. в лаборатории моего отца В. В. Скобелецына - профессора физики Ленинградского политехнического института.

Работа возникла спонтанно под влиянием выдающегося открытия того времени - открытия эффекта Комптона и в результате удачной моей идеи - исследовать электроны отдачи $\rightarrow$ -излучения в камере Вильсона. Мои первые фотографии были получены в отсутствие магнитного поля.

Использование магнитного поля в сочетании с камерой Вильсона не было изобретением. Я ввел такое поле (1500 - 2000 Гс) как вспомогательное средство, для того чтобы отклонить вторичное $\leftarrow$ -излучение, образованное $\rightarrow$ -излучением в стенке камеры Вильсона. Посторонний фон треков этого излучения затруднял наблюдение треков электронов отдачи, образуемых в газе камеры.

В то время космическое излучение меня не интересовало. Однако я знал о работах, которые выполнялись в этой области. Мой университетский коллега Л. В. Мысовский (он был старше меня) выполнил ряд важных экспериментов по изучению космического излучения, которое тогда называли "высотным излучением" (Hohenstrahlung). Ему и его сотруднику Тувиму принадлежит честь открытия "барометрического эффекта" в явлениях космического излучения. Особое внимание в этой области исследований в то время привлекали результаты большого значения, полученные в экспериментах Р. Милликена с сотрудниками по измерению поглощения космического излучения в горных озерах, и его (необоснованная) гипотеза о природе и происхождении космического излучения как проникающего ультра- $\rightarrow$ -излучения, образующегося в результате синтеза различных легких ядер атомов, таких, как ядра гелия, кислорода, кремния и т.д. По-видимому, до опубликования моих вильсоновских фотографий никто не пытался наблюдать вторичные $\leftarrow$ -частицы, вызванные таким гипотетическим ультра- $\rightarrow$ -излучением.

В этой связи я процитирую известного и очень компетентного экспериментатора - В. Боте. В его работе /2/, появившейся в начале 1923 г., можно найти следующее удивляющее утверждение: "Приходится, очевидно, заключить, что $\leftarrow$ -луч, скорость которого приближается к скорости света, не может быть обнаружен вильсоновским методом вовсе или может быть обнаружен лишь с трудом" /2, с. 127/.

К счастью, такое пессимистическое высказывание не могло произвести на меня впечатления, потому что, прежде чем приступить к моим наблюдениям, я основательно изучил фундаментальную работу Н. Бора /3/ по теории ионизации, создаваемой быстрыми α -частицами. Боте, вероятно, упустил из виду этот существенный вклад Бора, который, видимо, был затенен его работой, содержащей знаменитые квантовые постулаты и появившейся практически в то же время. После моих случайных наблюдений в 1927 г. /1/ появление треков космического излучения* подробное изложение соответствующих результатов моей работы было опубликовано в 1929 г. /1/.

Однако еще раньше материал, содержащий большую часть обнаруженных фактов, был мной представлен в ходе дискуссии, проведенной на "неформальной" конференции по проблемам $\rightarrow$ - и α -излучения, состоявшейся в Кембридже с 23 по 27 июля 1928 г. под покровительством профессора Э. Резерфорда. Одно заседание конференции было предусмотрено для дискуссии по проблемам α -излучения. (На этом заседании, по-видимому, не было докладов.) Во время дискуссии я продемонстрировал коллекцию фотографий треков космического излучения. Могу сказать, что они произвели некоторое впечатление на аудиторию. Между прочим, в начале моего выступления я прокомментировал теорию Бора - ионизации, вызываемой очень быстрыми α -частицами.

Сразу же после моих импровизированных замечаний слово взял профессор Гейгер. Он заявил о том, что Боте и Кольхерстер разрабатывают метод регистрации космического излучения по совпадению импульсов в двух нитяных счетчиках и надеются получить возможность изучать этим методом проникающую способность такого излучения.

В связи с этим "спровоцированным" мной (как я думал) сообщением профессора Гейгера 25 июля я обращаю внимание на следующие даты. Сообщение Гейгера и Мюллера об изобретении ими нитяных счетчиков было опубликовано в том же месяце - в июле 1928 г. /4/. Очень краткая заметка Боте и Кольхерстера информировала о том, что в результате использования метода совпадений они наблюдали ионизирующие частицы, проникающие через слой свинца толщиной 1 см. Заметка была датирована 2 ноября 1928 г. /5/.

Подробное сообщение о моих результатах, опубликованное в журнале "Zeitschrift für Physik", датировано 23 февраля 1929 г. /1/, тогда как статья Боте и Кольхерстера датирована 18 июня 1929 г. **/5/.

Хорошо известно, какие результаты исключительно большого значения дало дальнейшее развитие техники - камера Вильсона плюс магнитное поле.

Следующим шагом, который естественно напрашивался, было использование существенно более сильного магнитного поля. Было много причин, в силу которых я никогда не пытался это сделать.

** Термины "космическое излучение", который тогда еще не был принят и даже "Hohenstrahlung" ("высотное излучение") не были мной тогда упомянуты.*

*** Даты поступления рукописей статей в редакцию журнала.*

В 1929-1931 гг. я работал в лаборатории Кюри в Париже. П. Ожэ, который работал в соседнем институте (профессора Ж. Перрена), однажды (вероятно, это было в начале 1931 г.) спросил меня, собираюсь ли я предпринять такие исследования, Я ответил отрицательно, и тогда он тут же сказал, что возьмется выполнить эти

эксперименты. Вскоре после этого П. Ожэ показал мне свою установку, которая была готова для работы. Его попытка, однако, оказалась неудачной и, вероятно, была им оставлена осенью 1931 г., когда (как увидим в дальнейшем) стало известно о том, что К. Андерсон уже получил тысячу прекрасных снимков треков частиц космического излучения в сильном магнитном поле (13000 Гс).

По-видимому, что-то было неудачно с камерой Вильсона, которую сконструировал П. Ожэ. Мне сказали, что когда она весной 1931 г. была приведена в действие, никаких треков частиц космического излучения в ней не было обнаружено. Я получил эту информацию от одного сотрудника лаборатории Кюри (Жоржа Фурнье), который заключил из этого факта, что мои наблюдения 1927-1929 гг. были ошибочны. Однако в это время (1931) мои результаты были уже подтверждены в другой лаборатории /6/. В конце моего пребывания в Париже (1931) мне не представился случай встретить Ожэ, и я никогда после не слышал от него, что было причиной неудачи с его камерой в сильном магнитном поле.

В ноябре 1931 г. (я уже был в Ленинграде) Милликен посетил Европу и выступил с сенсационными лекциями в Париже и в Кембридже, показывая коллекцию фотографий Андерсона. Содержание этих лекций было опубликовано им и его соавтором К. Андерсоном позже (в мае 1932 г.) в журнале "Physical Review" /7/.

Треки, которые наблюдал Андерсон, были приписаны протонам высокой энергии, созданным фотонами космического излучения. В ноябре-декабре 1931 г. я получил письма от Марии Кюри и Ф. Жолио-Кюри из Парижа и Л. Грея из Кембриджа, которые упоминали о том, что они присутствовали на лекциях Милликена и в нескольких строчках информировали меня о сообщенных им результатах.

Несколько более подробную информацию давало письмо Грея, с которым в это время я переписывался, обсуждая некоторые проблемы исследования $\rightarrow$ -излучения. Он писал (ноябрь 1931 г.): "Я думаю (выделено мной - Д. С.), что в каждом случае треки протонов были плотнее, чем треки электронов". Ему, вероятно, так показалось. Милликен демонстрировал своей аудитории 11 снимков хороших треков в пределах энергии 20-80 МэВ, т.е., скажем $E = 50$ МэВ в среднем.

Плотность ионизации (удельная ионизация) зависит в основном от скорости частицы

или от отношения E/mc^2 , где m - собственная масса частицы. При этом заданном отношении абсолютная величина массы частицы с заданным зарядом не существенна. Отсюда следует, что ионизация, производимая протоном энергией 50 МэВ ($E/mc^2 = 5 \cdot 10^{-2}$), практически такая же, как для электрона энергией примерно 25 кэВ. Но невозможно спутать удельную ионизацию такого медленного электрона и быстрого ("релятивистского") электрона энергией несколько мегаэлектронвольт или больше. Однако треки положительных частиц, показанные Милликеном, не отличались существенно от электронных треков на тех же снимках при $p = 50$ МэВ (p - импульс). Однако профессор Милликен и его аудитория не заметили этого несоответствия. После того как я получил письмо Жолио, я написал ему сразу же о моих соображениях по этому поводу и высказал предположение, что, очевидно, что-то было ошибочно в фотографиях Милликена или в его интерпретации.

В заметке, опубликованной в мае 1932 г. /7/, Милликен и Андерсон повторили ту же версию своей интерпретации. Милликен утверждал, что открытые ими протоны являлись продуктом взаимодействия ультра- $\rightarrow$ -излучения с ядрами и даже

усмотрел в этом явлении подтверждение старой своей гипотезы о происхождении космического излучения (ультра- $\rightarrow$ -излучение как продукт синтеза определенных ядер). Прогресс в расшифровке Андерсоном его экспериментальных данных был медленным. Только в сентябре 1932 г. (спустя год после того, как им было получено более тысячи вильсоновских снимков в сильном магнитном поле) в короткой, осторожно отредактированной заметке в журнале "Science" /8/ он сослался на удельную ионизацию треков с положительной кривизной и, учтя ее характер и другие факты, пришел к выводу о существовании положительно заряженных частиц, масса которых "должна быть мала в сравнении с массой протона".

Следующая статья Андерсона была озаглавлена "Положительный электрон" и содержала более определенные утверждения. Она появилась в "Physical Review" в феврале 1933 г. /9/. Когда Андерсон ее писал, он уже знал о выдающихся результатах работы Блэкетта и Оккиалини /10/ (он ссылается на сообщения об этой работе в прессе). Статья Блэкетта и Оккиалини была получена для опубликования 7 февраля, даже немного раньше статьи Андерсона (полученной редактором "Physical Review" 28 февраля). Сейчас кажется странным, что, обсуждая свои эксперименты, авторы обеих статей не пытаются связать их результаты с теорией позитрона Дирака.

Верно и то, что сам Дирак /11/ был склонен идентифицировать положительные частицы своей теории с протонами. Работа Дирака была, конечно, им известна (кембриджским физикам, во всяком случае). Андерсон в своей статье предложил далеко идущие, казавшиеся странными гипотезы, например, об индуцированном космическим излучением превращении протона в электрон. (Такие спекуляции, рассматриваемые теперь на фоне новейшей субъядерной физики, представляются, может быть, менее странными?)

Через несколько месяцев после открытий Андерсона и Блэкетта - Оккиалини результаты экспериментов, полученные многими авторами одновременно в области исследования $\rightarrow$ -излучения, показали, что представления теории Дирака им адекватны. Выводы из данных этих экспериментов были резюмированы Блэкеттом на заседании 7-го Соль-веевского конгресса 22 октября 1933 г. Дискуссия, которая за этим последовала, представляет несомненный исторический интерес. В стенограмме этой дискуссии /12/ можно, между прочим, найти следующее характерное замечание Резерфорда: "По-видимому, в какой-то степени жаль, что мы имели теорию положительного электрона до начала экспериментов... Я был бы более доволен, если бы теория появилась после того, как экспериментальные факты были бы установлены"*.

Я остановился на изложении фактов, приведенных на предыдущих страницах, потому, что они дают представление о психологических барьерах на пути к открытию первой новой частицы в последовательности многих поколений частиц, которые вскоре появились.

Есть еще другое важное направление развития, которое последовало (с некоторым опозданием) вслед за моими первыми наблюдениями треков космического излучения. Я ссылаюсь на появление групп одновременных треков (до четырех в моих последующих

/12, с. 51/ *Перевод с французского выполнен автором этих воспоминаний.*

наблюдениях) и "ливней" (до 20 частиц) на фотографиях Блэкетта и Оккиалини (1933), полученных с камерой Вильсона, управляемой счетчиками /10/. Это явление сразу же привлекло внимание физиков, работающих в данной области. Но, возможно, тогда еще не предвидели его значения как ведущего, может быть, к наиболее интересной главе истории данной ветви науки. В действительности это явление оказалось предвестником новейшей физики частиц высокой энергии. Однако в течение относительно длительного времени его природа оставалась загадкой.

Вскоре были сделаны две неудачные попытки решить эту загадку. Наша с Оже заметка по этой проблеме появилась в июле 1929 г. /13/. Позже (в начале 1932 г.) Гейзенберг опубликовал свою версию /14/. Насколько скудными были данные эксперимента, необходимые для того, чтобы решить вопрос о природе явления, показывает тот факт, что на пяти страницах статьи Гейзенберга мои наблюдения 1929 г. цитируются одиннадцать раз, что совершенно необычно. Автор (Гейзенберг) опубликовал свою работу слишком рано. В конце того же года (1932) было объявлено об открытии позитрона. А годом позже появились фотографии "ливней" Блэкетта и Оккиалини. Эти события радикально изменили ситуацию. Наша (Оже и моя) идея сводилась к предположению, что группы треков появляются как результат последовательного одновременного образования комптоновских электронов частицей ультра- $\rightarrow$ -излучения. Мы даже усматривали в этом эффекте аргумент для того, чтобы отбросить выдвинутую Боте и Кольхерстером (на основании их измерений проникающей способности частиц космического излучения) гипотезу о природе первичного излучения как $\Leftarrow$ -излучения очень высокой энергии.

Гейзенберг же основывал свои выводы на только что упомянутой гипотезе Боте и Кольхерстера. Согласно его схеме одновременные треки наблюдаемых групп были треками нескольких ∇ -лучей, рожденных одной и той же $\Leftarrow$ -частицей.

Многие теоретики высокого ранга (и в меньшей степени экспериментаторы) прошли длинный путь исследований, прежде чем прийти к пониманию природы этого явления. В этой связи следует упомянуть имена В. Гейтлера, Г. Бете, Р. Оппенгеймера, К. Вейцекера и многих других. Решение загадки - первый вариант каскадной теории ливней - появилось в 1937 г. в работе Х. Баба и В. Гейтлера /15/. Для последующего развития физики открытие Оже (перед самой войной) атмосферных ливней - "оже-ливней" - имело большое значение /16/. Это соответствует времени, когда я начал работу в Физическом институте АН СССР им. П. Н. Лебедева в Москве.

Ожэ наблюдал совпадения в двух счетчиках, расположенных на расстоянии 300 м друг от друга или около того (в горизонтальной плоскости).

В последние годы войны (1944, 1945) исследования космического излучения в Физическом институте АН СССР им. П. Н. Лебедева были возобновлены.

Я предложил Г. Зацепину начать наблюдения атмосферных (позже известных как широких) ливней и попытаться получить этим методом информацию о частицах космического излучения самой высокой энергии. Первым шагом в направлении к этой цели было использование устройства из двух пар счетчиков, расположенных на самом большом (насколько это возможно) расстоянии одна от другой.

Используя четырехкратные совпадения вместо двукратных, как в экспериментах Ожэ, можно было уменьшить влияние постороннего фона случайных совпадений.

Эти эксперименты, выполненные Зацепиным с сотрудниками, были успешными. Они стали отправным пунктом развития более сложных и более совершенных устройств в различных направлениях исследований. Это составило очень увлекательную главу новейшей физики высоких энергий.

В течение последующих десятилетий работа в этой области велась коллективом высококвалифицированных научных сотрудников Физического института АН СССР км. П. Н. Лебедева и МГУ им. М. В. Ломоносова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Skobeltzyn D. - Z. Phys., 1927, Bd 43, S. 354; 1929, Bd 54, S. 686; Compt. rend. Acad. sci. Paris, 1932, vol. 195, p. 315.
2. Bothe W. - Z. Phys., 1923, Bd 12, S. 127.
3. Bohr N. - Philos. Mag., 1913, vol. 25, p. 10; 1915, vol. 30, p. 581.
4. Geiger H., Miiller W. - Naturwissenschaften, 1928, Bd 16, S. 617.
5. Bothe W., Kolhorster W. - Ibid., S. 1045; Z. Phys., 1929, Bd 56, S. 751.
6. Moth-Smith L., Locher G. - Phys. Rev., 1931, vol. 38, p. 1399.
7. Millikan R., Anderson C. - Ibid., 1932, vol. 40, p. 325.
8. Anderson C. - Science. 1932, vol. 76, p. 1967.
9. Anderson C. - Phys. Rev., 1933, vol. 43, p. 491. 10. Blackett P., Occialini G. - Proc. Roy. Soc., 1933, vol. 139, p. 699.
11. Dirac P. - Ibid., 1930, vol. 126, p. 360.
12. Joliot- Curie F. and I. Oeuvres Scientifiques Complets. Paris: Press. Univ., 1961, p. 505.
13. Auger P., Skobeltzyn D. - Compt. rend. Acad. sci. Paris, 1929, vol. 189, p. 55.
14. Heisenberg W. - Ann. Phys., 1932, Bd 13, S. 430.
15. Bhabha H., Heitler W. - Proc. Roy. Soc., 1937, vol. 159, p. 432.
16. Auger P., Maze R. - Compt. rend. Acad. sci. Paris, 1939, vol. 208, p. 1641.