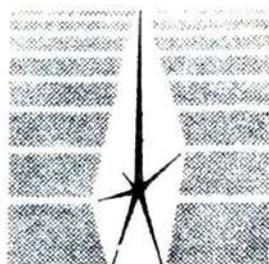


АКАДЕМИЯ НАУК СССР



Ордена Ленина  
ФИЗИКО-  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
им. А.Ф. Иоффе

Б. Г. Гаспарян

А. П. Гринберг

В. Я. Френкель

препринт 982

А. И. АЛИХАНОВ

В ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

ЛЕНИНГРАД

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОРДЕНА ЛЕНИНА ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А. Ф. ИОФЕ

982

Б. Г. Гаспарян, А. П. Гринберг, В. Я. Френкель

А. И. АЛИХАНОВ В ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

Ленинград  
1985

B.G.Gasparian, A.P.Grinberg, V.Ya.FrenkelA.I.Alikhanov in the Leningrad Physico-Technical Institute  
(1927-1943)

The first period of Prof. A.I.Alikhanov's scientific activity is presented. It is connected with the Leningrad Physico-Technical Institute and Alikhanov's works on X-rays and nuclear physics. The special attention is paid on Alikhanov's (and his collaborators) works on the positron physics and  $\beta$ -decay, as well as the electron scattering and absorption. These works are analyzed in detail. As a short preface the Alikhanov's biography is given, and as the conclusion - brief review on his pedagogical activity. In the paper some new documents are published for the first time.

А н н о т а ц и я

В работе рассматривается первый этап научной биографии основателя и первого директора Института теоретической и экспериментальной физики академика А.И.Алиханова. Этот период неразрывно связан с Ленинградским физико-техническим институтом и работами А.И.Алиханова по рентгеновским лучам и ядерной физике. Специальное внимание уделено исследованиям А.И.Алиханова и его сотрудников по внутренней парной конверсии и  $\beta$ -распаду, а также рассеянию и торможению быстрых электронов в веществе. Эти исследования подробно анализируются. В начале работы приводится краткая биография А.И.Алиханова, а в конце её говорится об участии А.И.Алиханова в работе Всесоюзных ядерных конференций и Лондонской международной физической конференции 1934 г. Некоторые приведенные в работе документы публикуются впервые.

3 марта 1984 г. исполнилось 80 лет со дня рождения академика Абрама Исааковича Алиханова (1904-1970), видного советского физика-экспериментатора, организатора и первого директора (1945-1968) Института теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ).

Первый этап научной биографии А.И.Алиханова (1927-1943) неразрывно связан с основанным А.Ф.Иоффе Ленинградским физико-техническим институтом (ЛФТИ), сыгравшим решающую роль в становлении и развитии отечественной физической науки и, в первую очередь, ядерной физики. Этот период научной деятельности Абрама Исааковича ещё недостаточно изучен. Приводимые в статье ранее неопубликованные факты его биографии, а также анализ основных его работ, выполненных в ЛФТИ, должны в какой-то степени восполнить этот пробел. Эта биография, как нам кажется, представляет тем больший интерес, что в ней, как в капле воды, нашли адекватное отражение процессы развития физики в СССР в 20-30-не годы.

### 1. Из Тбилиси в Ленинград

Абрам Исаакович Алиханов родился 3 марта 1904 г. в городе Елизаветполе (ныне г.Кировобад Азербайджанской ССР). Его отец - Исаак Абрамович Алиханов был машинистом Закавказской железной дороги; мать - Юлия Артемьевна Сулханова была домохозяйкой. В семье было двое сыновей и две дочери. Родители дали сыновьям имена своих отцов: старший был назван Абрамом в честь деда по отцовской линии, младший - Артемием (впоследствии известный физик-экспериментатор Артемий Исаакович Алиханьян) в честь деда по материнской линии\*).

В 1912 г. Исаак Алиханов был переведён по службе в г.Александрополь (в настоящее время г.Левинакан - второй по величине и значимости город в Армянской ССР); вместе с ним туда переехала и его семья. В том же году А.И.Алиханов поступил в местное коммерческое училище, единственное тогда в Александрополе учеб-

---

\*). После кончины А.И.Алиханова было опубликовано несколько некрологов /1,2/, откуда почерпнуты некоторые биографические сведения о нем. Большинство же данных, приведенных здесь, взяты из материалов его личных дел, хранящихся в различных архивах страны.

ное заведение.

В 1913 г. И.А.Алиханова перевели в г.Тифлисо, а А.И.Алиханов продолжил обучение в первом Тифлисском коммерческом училище.

В 1918 г. вся семья, исключая Абрама Алиханова, вернулась в Александрополь. Там родные А.И.Алиханова оказались вовлеченными в грозные события, неизменно находившие отражение в автобиографиях Абрама Исааковича<sup>ж)</sup> (то же относится и к Артемию Алиханьяну); в 1920 г., за день до взятия Александрополя турками<sup>хх)</sup>, родителя, две сестры и младший брат Артемий бежали из города и с трудом добрались до Тифлиса.

В 1921 г. А.И.Алиханов окончил коммерческое училище и поступил на Горно-химический факультет Грузинского политехнического института. Выбор им специальности не был случайным. Как видно из копии его аттестата<sup>ххх)</sup>, уже в период обучения в коммерческом училище у юного Алиханова возник большой интерес к естественным наукам - по алгебре, геометрии, космографии, физике в его аттестате проставлены оценки "весьма удовлетворительно" (более высокой оценки в то время в Грузии не существовало).

В 1923 г. по командировке Наркомпроса Грузии и Закавказского дорожного комитета профсоюза рабочих железнодорожного транспорта Алиханов приехал в Петроград и поступил на химический факультет II Петроградского политехнического института<sup>хххх)</sup> (в 1924 г. оба Ленинградских политехнических института были

---

ж) См. Архив ФТИ им. А.Ф. Иоффе АН СССР, ф.3, оп.3, ед.хр.56. Личное дело А.И.Алиханова, л.50-51 и Архив ИФП им. С.И. Вавилова АН СССР, № 350, оп.4, ед.хр.2, л.92-93.

хх) Город Александрополь был взят турками 7 ноября 1920 г. во время войны между Турцией и буржуазной дашнакской Арменией (9 июня 1920 г. - 2 декабря 1920 г.).

ххх) См. Центральный Государственный архив Октябрьской революции и социалистического строительства г. Ленинграда (ЦГАОРСС), ф.3121, оп.21, д.69. Личное дело А.И.Алиханова, л.14а.

хххх) Так тогда назывались бывшие Санкт-Петербургские женские политехнические курсы. В 1915 г. они были переименованы в Петроградский женский политехнический институт, а в 1918 г. - во II Политехнический институт.

объединены). Но юного Алиханова больше влекло к физике — науке, переживавшей в начале 20-х годов бурное развитие. Определяющую роль в выборе будущей специальности, несомненно, сыграла та известность, которой пользовался в Ленинградском политехническом институте и за его пределами созданный по инициативе А.Ф.Иоффе физико-механический факультет (ФМФ).

В сентябре 1924 г. А.И.Алиханов, согласно своему заявлению, был переведён на ФМФ. На факультете в то время преподавали ведущие физики страны, и здесь Абрам Исаакович прошёл прекрасную школу. Из его зачётной книжки\*) можно видеть, что он прослушал курсы, читавшиеся А.Ф.Иоффе (общая физика), М.В.Кирпичевым (термодинамика), Л.Г.Лойцянским (теоретическая механика), И.В.Обреимовым (оптика), Н.Н.Семеновым (электронные явления), Я.И.Френкелем (статистическая физика).

Общение с этими видными учёными (почти все они занимались большой наукой в стенах ЛФТИ) укрепило у А.И.Алиханова интерес к исследовательской работе. Он мечтает стать сотрудником этого института. В 1927 г. мечта студента А.И.Алиханова (он окончил ЛПИ в 1930 г.) стала реальностью:

"Приказ № 73

Определяется в качестве временного сотрудника в подотдел рентгенотехнический Ленинградской физико-технической лаборатории<sup>xxx)</sup> гр-н А.И.Алиханов с I-го октября 1927 года с выплатой ему содержания в размере 30 (тридцати) рублей в месяц, с отнесением расхода на счёт специальных расходов по госбюджету по означенному подотделу.

II октября 1927 г.

Помощник директора В.Н.Глазанов<sup>xxx)</sup>.

Началась более чем сорокалетняя плодотворная научная деятельность Абрама Исааковича Алиханова.

\*) Архив ЦГАОРСС, указ. фонд, л. 18.

xxx) В течение нескольких лет, начиная с 1925 г., ЛФТИ представлял собой своеобразный симбиоз собственно Института и физико-технической лаборатории, осуществлявшей прямую его связь с промышленностью.

xxx) Архив ФТИ им. А.Ф.Иоффе АН СССР, ф.3, оп.3, ед.хр.56. Личное дело А.И.Алиханова, л.1.

2. Основные направления исследований ЛФТИ к 1927 г.  
Первые научные работы А.И.Алиханова

В середине 20-х годов, ко времени прихода А.И.Алиханова в ЛФТИ, основной тематикой исследований в институте являлось изучение свойств твёрдого тела. Эти исследования проводились, в основном, рентгенографическим методом. А.Ф.Иоффе и его сотрудники М.В.Кирпичева и М.А.Левитская\*) в 1922-1924 гг. применили этот метод для изучения механических свойств кристаллов (именно с этими работами были связаны первые научные успехи ЛФТИ). Они исследовали динамику процесса пластической деформации кристаллов каменной соли, находящихся под нагрузкой, и открыли новое явление - астеризм. Оно заключалось в своеобразном изменении лауэграммы кристалла: дифракционные пятна, характерные для ненагруженных образцов, превращались в полосы различной длины, расходящиеся из центра дифракционной картины (придающие ей звездообразный вид); эти развивающиеся во времени превращения отражали процессы, происходившие в кристалле при деформации: его дробление на блоки. Полученные А.Ф.Иоффе и его сотрудниками фотографии лауэграмм кристалла каменной соли, на которых были зафиксированы этапы процесса дробления, обошли многие монографии, посвящённые строению кристаллов.

Другим существенным достижением в исследовании механических свойств твёрдых тел было обнаружение прерывистого характера деформации. Это явление, возникающее при температуре, превышающей некоторое критическое значение, сопровождается характерным звуком, напоминающим тиканье часов. Как бы ни мала была нагрузка и как, соответственно, ни медленно протекала деформация, совершалась она "микронными" скачками, в течение длительного времени происходившими с неизменной частотой. Первоначально (1924 г.) это явление изучали А.Ф.Иоффе и П.Эренфест (на примере монокристаллов цинка, для которого критическая температура меньше комнатной); в 1927-1928 гг. исследования были про-

---

\*) В разработке методики наблюдений и наладке установки принимал участие Л.С.Термен, который в это время занимался в ЛТИ, в основном, проблемами радиотехники и "электронной музыки", (именно тогда им был разработан знаменитый "терменвокс").

должны М.В.Классен-Неклюдовой, которая, работая с каменной солью, алюминием и латунью, изучила температурную зависимость эффекта. Теорию, объяснившую прерывистый ход деформации за счёт рекристаллизации, понижающей предел упругости образцов, и последующего упрочнения развил Н.Н.Давиденков (звуковая эмиссия, сопровождающая механическую нагрузку материалов, в настоящее время интенсивно изучается).

Рассматриваемый период времени характеризуется также ростом исследований по химической физике. В этой области науки под руководством Н.Н.Семенова начались экспериментальные и теоретические исследования, приводившие позднее к фундаментальному представлению о цепных реакциях и их роли в химической кинетике\*).

Первые работы А.И.Алиханова в ЛФТИ были посвящены изучению свойств металлов с помощью рентгеновских лучей. В 1929 году практически одновременно в Советском Союзе и за рубежом была опубликована первая научная работа двадцатилетнего А.И.Алиханова "Рентгенографическое исследование алюминия при высоких температурах" /3/. Эта работа Абрама Исааковича малоизвестна, нам представляется целесообразным остановиться на ней.

В связи с проблемой старения дюралюминия не раз ставился вопрос о существовании у алюминия аллотропического превращения. Этому вопросу было посвящено много работ, в которых алюминий исследовался dilatометрическим и электрическим методами. Они говорили в пользу наличия аллотропического превращения у алюминия при температуре  $535+590^{\circ}\text{C}$ .

В 1928 г. немецкие экспериментаторы В.Гюртлер и Л.Анастасиадис, исследуя тремя различными методами измерений (dilatометрическим, термическим и электрическим) восемь сортов алюминия с различным количеством примесей, доказали отсутствие у алюминия аллотропического превращения /4/.

Выяснению этого же вопроса и была посвящена первая работа Абрама Исааковича. В ней было проведено рентгенографическое

---

\*). Н.Н.Семенов и английский физико-химик С.Хиншелвуд за исследования механизма химических реакций были в 1956 г. удостоены Нобелевской премии по химии.

исследование алюминия при температурах  $550+600^{\circ}\text{C}$ . Результаты исследований показали, что у алюминия всё время сохраняется одна структура, а именно - структура куба с центрированными гранями, и подтвердили результат, полученный несколько ранее В.Гуртлером и Л.Анастасиадисом.

В 1930 г. А.И.Алиханов перешёл от рентгенографических исследований, в которых рентгеновские лучи выполняли методическую роль, к изучению свойств самих лучей. Он совместно с Л.А.Арцимовичем (под руководством П.И.Лукирского) провёл серию исследований по оптике рентгеновских лучей.

В опубликованной в 1931 г. работе "О частичном поглощении рентгеновских квантов" /5/ авторы, проведя спектрометрический анализ рентгеновских лучей, показали отсутствие различия между спектрограммами, снятыми с поглотителями и без них. Тем самым, результаты этого исследования А.И.Алиханова и Л.А.Арцимовича опровергли неверные выводы, полученные некоторыми зарубежными физиками, обнаружившими так называемое "частичное поглощение рентгеновских лучей" - аналогичное эффекту комбинационного рассеяния света.

Особенно значительна совместная работа А.И.Алиханова и Л.А.Арцимовича "Полное внутреннее отражение рентгеновских лучей от тонких слоев" /6/, вышедшая в свет в 1933 г. В этой работе авторами был исследован механизм полного внутреннего отражения рентгеновских лучей от тонких слоёв различных металлов, нанесённых на подложку методом испарения, определена экспериментально и оценена теоретически (в полном соответствии обоих результатов друг с другом) глубина проникновения рентгеновских лучей в материал при полном отражении. Эти исследования непосредственно доказали применимость законов классической оптики Френеля и Максвелла к явлениям отражения жёстких рентгеновских лучей от прозрачных и поглощающих сред.

Исследования А.И.Алиханова по физике рентгеновских лучей были подытожены им в 1934 г. в небольшой монографии "Оптика рентгеновских лучей" /7/, вышедшей в серии книг, издание которых было приурочено к 15-летию юбилею ЛФТИ. В этой монографии, редактором которой был П.И.Лукирский (его А.И.Алиханов считал одним из своих учителей), впервые в мировой литературе

была представлена сводка данных по преломлению рентгеновских лучей и применению к описанию этого эффекта закона Брэгга-Вульфа; специально проанализирована проблема полного внутреннего отражения рентгеновских лучей. Существенно, что большую часть объёма книги представляет изложение новых результатов, полученных автором (и коротко изложенных выше). Актуальность этой монографии А.И.Алиханова вновь возросла в 70-е годы (об этом свидетельствуют участвовавшие в этот период ссылки на книгу) в связи с созданием рентгеновских телескопов для астрономических целей. Выпуском своей монографии А.И.Алиханов как бы подводил черту под своими исследованиями по физике и оптике рентгеновских лучей.

### 3. Начало исследований по ядерной физике в ЛФТИ

В конце 1932 г. под влиянием бурного развития физики атомного ядра, ядерная тематика стала рассматриваться в качестве одного из главных и перспективных направлений планируемых работ ЛФТИ. 16 декабря 1932 г. по инициативе и под руководством академика А.Ф.Иоффе в институте была создана группа ядерной физики. В её состав вошли И.В.Курчатов - заместитель начальника группы, С.А.Бобковский, П.А.Богдзевич, М.П.Бронштейн, М.А.Еремеев, Д.Д.Иваненко, И.П.Пустовойтенко, И.П.Селинов, Д.В.Скобелыцын. Вскоре, в 1933 г., группа была преобразована в отдел ядерной физики, который возглавил И.В.Курчатов /8, с. 13/.

Параллельно с созданием ядерной группы, с конца 1932 г. в ЛФТИ при отделе И.В.Курчатова начал работать ядерный семинар; его учёным секретарем был Д.Д.Иваненко. В архиве ЛФТИ сохранились некоторые данные о тематике обзорных и оригинальных докладов, которые читались на этом семинаре. В частности, А.И.Алиханов выступил на нём с циклом докладов о работах Э.Резерфорда\*) (интересно здесь подчеркнуть, что обращение к ядерной тематике в лаборатории Э.Ферми в Риме также началось с

---

\*) См. Архив ФТИ им. А.Ф.Иоффе АН СССР, ф.3, оп.1, ед.хр.24. Отчёт о работе ядерного семинара за 1933 г.; повестка для семинара за апрель-декабрь 1933 г.

подробного реферирования - в рамках семинара - монография Резерфорда, Чадавика и Эллиса).

1 марта 1934 г. Абрам Исаакович был назначен заведующим лабораторией позитронов в подотделе рентгеновских лучей и электронов, возглавляемом П.И.Лукирским (подотдел входил в "Отдел физики твёрдого тела", руководимый А.Ф.Иоффе<sup>\*</sup>). В его лаборатории начали работать А.И.Алиханьян, Б.С.Джелепов, М.С.Козодаев.

#### 4. Изучение явлений парной конверсии

Через несколько месяцев после открытия позитрона в космических лучах, сделанного К.Андерсоном в конце 1932 г., в нескольких лабораториях были развернуты работы с целью ответить на вопрос: нельзя ли получить позитроны в контролируемых условиях - например, с помощью излучений радиоактивных веществ? Вопрос был поставлен в статье Блэкетта и Оккиалини /9/ (в этой статье они убедительно подтвердили открытие Андерсона). Все группы исследователей применяли одну и ту же методику - камеру Вильсона в магнитном поле.

Выяснилось, что позитроны обнаружить нетрудно. В частности, большое количество позитронов возникает при действии жестких  $\gamma$ -лучей на вещество с большим атомным номером. Много позитронных треков наблюдается при действии  $\alpha$ -частиц на лёгкие ядра. Однако попытки объяснить возникновение позитронов во всех этих опытах каким-либо одним механизмом натолкнулись на большие трудности; приходилось делать вывод, что таких механизмов несколько. Эти трудности разрешились только в следующем, 1934 году - после открытия искусственной радиоактивности. Стало ясно, что часть позитронов, наблюдавшихся в многочисленных прежних работах (выполненных, главным образом, И.Кюри и Ф.Жолио) - это  $\beta^+$ -частицы, испускаемые ядрами при их радиоактивном распа-

<sup>\*</sup>

де; такие ядра образуются в реакциях ( $\alpha$ ,  $n$ ).

Для дальнейшего изложения необходимо вкратце остановиться на вопросах терминологии. В начале 30-х годов в литературе употреблялся термин "внутренняя конверсия  $\gamma$ -лучей с образованием [электрон-позитронной] пары". В дальнейшем стали придерживаться более точного термина: "внутренняя конверсия энергии возбужденного ядра с образованием пары". Наконец, для краткости ввели термин "парная конверсия". При этом различаются внешняя и внутренняя парная конверсия (эти процессы ранее назывались "внешней и внутренней материализацией  $\gamma$ -квантов"). Указанные два вида парной конверсии (ПК) существенно отличаются друг от друга. Внешняя ПК происходит в кулоновском поле ядра при взаимодействии жесткого  $\gamma$ -кванта с атомом, находящимся вне излучающей системы. Как следует из теории Дирака, рождение пары возможно при  $E_\gamma > 2m_0c^2$ , где  $m_0$  - масса покоя электрона, т.е. при  $E_\gamma > 1,02$  МэВ. Внутренняя ПК представляет собой рождение пары  $e^-e^+$  вблизи ядра при переходе его из некоторого высокого возбужденного состояния в нижележащее (при  $\Delta E_{\text{перех.}} > 2m_0c^2$ ). Возникшие при этом электрон и позитрон вылетают из того же атома, в ядре которого произошел указанный переход.

Существование явления внешней ПК было показано в 1933 г. независимо и почти одновременно несколькими группами - Чадвиком, Блекеттом и Оккиалини /10/, Андерсоном /11/, Кюри и Жолио /12,13/, Майтнер и Филиппом /14,15/. Особенно интересны были работы /13,16/, в которых удалось установить, что треки электронов и позитронов часто появляются парами, исходящими из одной точки (наподобие буквы  $\omega$ ); это было непосредственным свидетельством рождения пар под действием  $\gamma$ -лучей<sup>\*</sup>). Очень пра-

\* ) Парные треки показаны и на фотографии, помещенной в статье Д.В.Скобелыцына 1934г. /17/. Этот снимок с камеры Вильсона относится к 1931 г. В камере производилось облучение газа  $\gamma$ -лучами  $TlC$  (2,62 МэВ). Указано, что всего на старых снимках найдено 4 пары, причём сумма энергий ( $E_+ + E_-$ ) во всех случаях примерно одинакова и соответствует величине (2,62-1,02) МэВ. Позитроны в то время (1931г.) еще не были известны, и автор не решился предположить, что треки "обратной кривизны" следует приписать положительно заряженным частицам.

Можно напомнить, что в приблизительно такой же ситуации оказались И.Кюри и Ф.Жолио. В апреле 1932г. они сообщили о наблюдениях в камере Вильсона с магнитным (см. след. стр.)

ближенный теоретический расчёт сечения внешней ПК был дан Оппенгеймером и Плессетом /20/ на основе теории Дирака.

В этой же заметке /20/ содержится и первое предположение о существовании в природе явления внутренней ПК. Такое же предположение было независимо выдвинуто в статье И.Кюри и Ф.Жолио /21/ в качестве возможного объяснения происхождения части наблюдаемых позитронов<sup>х)</sup>. Вскоре появилась теоретическая заметка Недельского и Оппенгеймера /22/, в которой даны первые общие соображения об оценке величины коэффициента внутренней ПК. В дальнейшем вопросы теории внутренней ПК привлекали внимание многих видных теоретиков. В результате их работы теория приобрела законченный вид.

Приняв в 1933 г. решение перейти на ядерную тематику, А.И.Алиханов выбрал в качестве объекта первой своей работы в новой области исследование внешней и внутренней ПК. В то время такое исследование являлось весьма актуальным, многие вопросы ожидали своего решения. Статья "Испускание положительных электронов из радиоактивного источника" была отправлена в печать в апреле 1934 г. /23/. (Первое сообщение об этой работе появилось в виде аннотации в журнале *Nature*, вышедшем в свет 14 апреля 1934 г. /24/.). Перечисляя во введении к /23) цели своей работы, её авторы указывают, что намерены изучить спектр позитронов внешней ПК в зависимости от энергии  $\gamma$ -квантов и атомного номера облучаемого элемента. Далее отмечено, что интересно "выяснить, имеется ли испускание позитронов из радиоактивного источника путем внутренней конверсии  $\gamma$ -лучей, а также исследовать зависимость выхода их от энергии  $\gamma$ -квантов".

---

полем электронных треков "обратной кривизны" /18/. Фотография такого трека опубликована в их обзоре /19/. Авторы предположили, что подобные треки связаны с обычными электронами, возникшими в газе камеры вдали от источника и случайно летящими по направлению к нему.

х) В работе /21/ наблюдались позитроны, вылетающие из источника  $Po(\alpha) + Be$ . Авторы предположили, что идет реакция  ${}^9Be + \alpha = {}^{12}C + n + e^- + e^+$ , причём пара  $e^-e^+$  возникает "в результате внутренней конверсии фотона в ядре бериллия, которым он испускается". Такая формулировка, очевидно, ошибочна - следовало говорить о внутренней (парной) конверсии при разрядке высоковозбужденных состояний ядра  ${}^{12}C$ .

Авторы начали с разработки очень эффективного метода наблюдения позитронов (с полным отделением их от электронов) и изучения их спектров. В соответствии с теоретическими оценками ожидалось, что количество позитронов будет на много порядков величины меньше, чем количество  $\gamma$ -квантов. Поэтому надо было выбрать метод, обеспечивающий возможно большее подавление фона от  $\gamma$ -лучей и рассеянных электронов. С этой целью Алиханов радикально усовершенствовал классический магнитный спектрометр с полукруговой фокусировкой в однородном поперечном магнитном поле (метод Даныша), применив в качестве детектора позитронов телескоп из двух счётчиков Гейгера-Мюллера, работающих на совпадения. Метод магнитного анализа для исследования спектров позитронов внешней и внутренней ПК в этой работе применён впервые.

Целью разработки радиотехнической схемы совпадений, описанной в /23/, было получение высокого времени разрешения, порядка  $10^{-5}$  с, при большой загрузке счётчиков Гейгера-Мюллера, в сотни раз превосходящей загрузки при исследовании космических лучей. Для этого в схеме использованы электронные лампы с большим коэффициентом усиления (тетроды) для нелинейного усиления и формирования (выравнивания по амплитудам и сокращения длительности) импульсов, подаваемых на схему выделения совпадений по Росси.

Мы сравнительно подробно остановились на описании этой схемы, поскольку с неё, по существу, началось в нашей стране развитие применений электроники в ядерной физике.

В качестве источника  $\gamma$ -лучей был выбран  $\text{RaC}$  ( $^{214}\text{Bi}$ )\*. Интенсивные  $\gamma$ -линии, испускаемые этим источником, имеют энергии 1764,5 и 2204 кэВ (здесь указаны современные значения  $E_\gamma$ ; в работе /23/ приняты  $E_\gamma = 1760$  и 2200 кэВ). Радиатором электрон-позитронных пар служила свинцовая фольга. В работе впервые приведен спектр позитронов внешней ПК в большом интервале энергий позитронов. Наиболее заметной особенностью этого спек-

\* В первой части работы (исследование внешней ПК) была использована ампулка с радием, во второй части - тонкостенная стеклянная ампулка с радоном. В обоих случаях одним из продуктов радиоактивного распада является  $\text{RaC}$ . Остальные члены цепочки распада не дают жестких  $\gamma$ -лучей.

тра являются два максимума, соответствующие энергии около 350 и 600 кэВ, т.е. примерно половине величины ( $E_\gamma = 1020$  кэВ), где  $E_\gamma = 1760$  и  $2200$  кэВ. Этот результат согласуется с теоретическими представлениями о внешней ПК.

В дальнейших работах Алиханова с сотрудниками были проведены измерения, позволяющие оценить сечение процесса внешней ПК в зависимости от энергии  $\gamma$ -лучей и от порядкового номера элемента радиатора. Получение абсолютных значений сечения оказалось затруднительным, поэтому были сделаны относительные измерения. Например, было показано /25/, что для свинцового радиатора  $\sigma(2,62 \text{ МэВ}) : \sigma(2,22 \text{ МэВ}) = 2,8$  - в хорошем согласии с теоретическим расчётом /26/.

Для  $\gamma$ -лучей с энергией  $2,62 \text{ МэВ}$  и толстых радиаторов  $\sigma(\text{Pb}) : \sigma(\text{Al}) = 5$ ; с учётом ошибок опыта считалось, что это удовлетворительно согласуется с теоретическим значением  $6,3$ .

Измеренный с помощью усовершенствованного спектрометра и достаточно сильного препарата  $\text{ThC}''$  ( $E_\gamma = 2,62 \text{ МэВ}$ ) /27/ спектр позитронов внешней ПК в тонком свинцовом радиаторе очень хорошо соответствовал теоретическому расчёту Егера и Хэлма /28/\*).

Перейдем теперь к работам по внутренней ПК. Статья Алиханова и Козодаева /23/ представляет собой одно из первых экспериментальных исследований в этой области.

Здесь следует подчеркнуть, что внутренняя ПК, как уже упоминалось, для своего проявления требует наличия высоковозбужденного ядерного уровня. В зависимости от способа образования этого уровня существует два варианта явления: I/ возбужденный уровень возникает в конечном ядре при ядерной реакции (пример

\* В статье /25/ Алиханов с соавторами благодарят Хэлма за полученные им расчётные данные по внешней ПК с  $\gamma$ -лучами  $\text{ThC}''$ . В свою очередь, Егер и Хэлм в статье /28/ благодарят Алиханова с сотрудниками за предоставленные ими экспериментальные данные о спектре позитронов при внешней ПК до опубликования. Здесь можно высказать предположение, что Алиханов незадолго до этого обмена информацией познакомился с Егером и Хэлмом во время своего пребывания в Кембридже в октябре 1934 г. (см. об этом в конце п.5).

такого рода - реакция  ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ , при которой внутренняя ПК происходит в атоме  ${}^{12}\text{C}$  /21/; 2/ возбужденный уровень получается в дочернем ядре в результате  $\alpha$ - или  $\beta$ -распада материнского ядра.

Второй вариант внутренней ПК впервые наблюдал Тибо /29/, который установил, что радиоактивный источник - радон или активный осадок тория - испускает большое количество позитронов. Он предположил, что это - результат внутренней ПК. Вскоре аналогичное явление наблюдали независимо и почти одновременно две группы исследователей: Чадвик, Блэккетт и Оккиалини /30/ и Алиханов и Козодаев /23/. Первая группа работала с активным осадком тория и получила данные о позитронах внутренней ПК при переходах  $\text{ThC} \rightarrow \text{ThC}'$  ( ${}^{212}\text{Bi} \rightarrow {}^{212}\text{Po}$ ) и  $\text{ThC} \rightarrow \text{ThD}$  ( ${}^{208}\text{Tl} \rightarrow {}^{208}\text{Pb}$ ), вторая наблюдала позитроны, испускаемые радонном, т.е. при переходах  $\text{RaC} \rightarrow \text{RaC}'$  ( ${}^{214}\text{Bi} \rightarrow {}^{214}\text{Po}$ ). Заметим, что в работах /29,30/ о результатах, касающихся внутренней ПК, сказано всего несколько фраз. Первые подробные экспериментальные данные об этом явлении были приведены в статье Алиханова и Козодаева /23/.

Основная особенность спектра позитронов внутренней ПК, предсказываемая теорией, - резкий обрыв спектра при энергии  $E_+ = E_\gamma - 1,02 \text{ МэВ}$  - на опыте проявилась четко /23/. Однако вид спектра в целом сильно отличался от теоретического - в средней и мягкой частях спектра было много "лишних" позитронов. Авторам пришлось предположить, что только небольшая часть наблюдаемых в этом опыте позитронов связана с внутренней ПК (мы не будем здесь останавливаться на их попытке объяснить происхождение остальных позитронов, поскольку это объяснение оказалось неправильным).

Впоследствии Алиханов и Латышев писали: "Исследования спектров позитронов  $\text{RaC}$  и  $\text{Th}(C+C')$ , производимые в течение ряда лет в нашей лаборатории, неизменно приводили нас к заключению, что невозможно объяснить вид этих спектров одной только внутренней конверсией  $\gamma$ -лучей" /31, с.429/. В результате целеустремленно и умело проводившейся работы по усовершенствованию магнитного спектрометра и радиотехнической схемы удалось выяснить, что «разногласие между теоретической формой спектра позитронов <...> и экспериментальной обусловлено на-

личием большого числа неизвестных до этого  $\gamma$ -линий, которые и создавали так называемые "лишние позитроны" ».

Наиболее точно спектр позитронов внутренней ПК  $RaC$  был измерен в лаборатории Алиханова в 1940 г. /32/. В работе /32/ подробно изложены причины, приводившие к искажению спектров, и описаны найденные пути усовершенствования аппаратуры. В результате она была доведена до высокой степени совершенства и надежности, и удалось измерить тонкие детали спектра позитронов (обрывы малой высоты). Таким образом были обнаружены новые  $\gamma$ -линии  $Ra(C+C')$ .

При исследовании внутренней ПК Алиханов с сотрудниками ставили себе целью, помимо изучения позитронных спектров, измерение коэффициента внутренней ПК, т.е. отношения числа пар  $e^+e^-$  к числу  $\gamma$ -квантов, испускаемых за тот же промежуток времени, при разрядке возбуждения определенного ядерного уровня:  $\alpha_{ПК} = N_{\text{пар}} / N_{\gamma}$ . Трудность измерения  $\alpha_{ПК}$  состоит в том, что в данном радиоактивном источнике образуются обычно несколько возбужденных уровней и, следовательно, испускаются различные  $\gamma$ -линии и соответствующие им спектры позитронов ПК. При измерении  $\alpha_{ПК}$  в качестве величины, пропорциональной  $N_{\text{пар}}$ , берется площадь под кривой, изображающей ту часть спектра позитронов, которая относится к рассматриваемому переходу (выделение данного парциального спектра позитронов производится с помощью формул теории внутренней ПК). Вместо величины  $N_{\gamma}$ , как правило, измерялось общее число  $\beta$ -частиц, испускаемых в течение известного промежутка времени материнским веществом, так как обычно отношение  $N_{\beta} / N_{\gamma}$  было уже хорошо известно. Таким способом в работе Алиханова с сотрудниками /33/ впервые была измерена абсолютная величина  $\alpha_{ПК}$  для перехода  $ThC'' \rightarrow ThD$  с  $\Delta E = 2,62$  МэВ. Она оказалась равной  $(4,5 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$ . Для выделения парциального спектра позитронов авторы пользовались теоретическим расчетом, приведенным в статье Егера и Хэлма /34/. По данным этих авторов для квадрупольного перехода с  $\Delta E = 2,62$  МэВ (при  $Z = 84$ ) теоретическое значение  $\alpha_{ПК} = 4,6 \cdot 10^{-4}$ . Как видно, наблюдается удовлетворительное согласие

между экспериментальными и теоретическими данными<sup>\*</sup>).

В другой работе Алиханова с сотрудниками /36/ измерен ряд значений  $\alpha_{пк}$  для нескольких переходов при распаде  $RaC \rightarrow RaC'$ , так что удалось построить кривую  $\alpha_{пк}(\Delta E)$  в области  $\Delta E \approx 1,4 - 2,5$  МэВ; показано, что рост  $\alpha_{пк}$  с увеличением  $\Delta E$  соответствует предсказаниям теории /34/.

Отметим выполненную группой сотрудников Алиханова интересную работу /37/, которая в своё время была единственной, содержащей подробные и надёжные данные о распределении углов разлета электрон-позитронной пары при внутренней и внешней ПК. Эта работа была доложена на 2-й Всесоюзной конференции по атомному ядру (Москва, сентябрь 1937 г.).

На этой же конференции Алиханов выступил с обзорным докладом о внешней ПК /38/<sup>жж</sup>). Помимо изложения результатов экспериментальных работ своей лаборатории, полученных за три года, Алиханов сообщил и о немногочисленных работах в рассматриваемой области, выполненных за рубежом. Приведем здесь данную им оценку состояния исследований: "... можно с определенностью сказать, что весь имеющийся сейчас экспериментальный материал полностью укладывается в рамки теории, не требуя никаких сколько-нибудь существенных изменений в ней" /38, с.33/. Алиханов имеет здесь в виду теоретические расчёты, выполненные в рамках релятивистской квантовой механики. Эти расчёты были подтверждены во всех деталях с большой точностью.

За годы работы в области изучения позитронных спектров (1934-1940) Алиханов с сотрудниками получили разносторонние и надёжные данные о процессах парной конверсии, внесли весомый вклад в эту область физики. Большая часть всех опубликованных в мировой физической литературе в указанный период работ по парной конверсии принадлежит группе Алиханова<sup>жжж</sup>).

<sup>\*</sup>) В 1946 г. группа швейцарских физиков /35/ повторила с помощью аналогичного магнитного спектрометра измерение  $\alpha_{пк}$  для  $TlC$ , выполненное в работе Алиханова с сотрудниками /33/, и получила приблизительно такой же результат.

<sup>жж</sup>) Лаборатория Алиханова до этого дважды выступала с обзорными докладами о парной конверсии на сессиях физической группы АН СССР - в 1935 г. /39/ и в 1936 г. /40/.

<sup>жжж</sup>) Большой цикл работ по внешней ПК в газах провела в ФИАН СССР Л.В.Грошев и И.М.Франк (1938-1940).

Отметим в заключение, что в результате разработки надежного метода измерения позитронных спектров выяснилось, что он позволяет измерять энергии и относительные интенсивности жестких  $\gamma$ -лучей, даже весьма слабых; это в своё время (до разработки германиевых  $\gamma$ -спектрометров) имело большое значение в ядерной спектроскопии.

х х х

Несколько в стороне от серии работ группы Алиханова по внешней и внутренней ПК стоит исследование /41/, целью которого была проверка предсказания теории о том, что два  $\gamma$ -кванта, возникающие при аннигиляции позитрона и электрона, разлетаются под углом  $\sim 180^\circ$  (если аннигилирует очень медленный позитрон). Такая проверка равносильна доказательству того, что при столкновении позитрона и электрона соблюдается закон сохранения импульса. Работа /41/ в известном смысле является продолжением работ Д.В.Скобелыцина /42/, Боте и Гайгера /43/ и Клемперера/44/.

Первые две были связаны с появившейся в то время точкой зрения, согласно которой законы сохранения энергии и импульса, возможно, не действуют в микромире (например, в отдельном акте взаимодействия частиц), так что они справедливы лишь статистически - в среднем для большого множества частиц. В работах /42/ и /43/ были приведены доказательства против такой точки зрения. Было показано, что законы сохранения остаются справедливыми в отдельном акте комптоновского рассеяния  $\gamma$ -кванта на электроны.

Работа Клемперера /44/ имела целью установить детали акта столкновения позитрона и электрона (аннигиляции). Предсказанное Дираком явление аннигиляции с образованием двух  $\gamma$ -квантов, энергия каждого из которых должна составлять 510 кэВ, было обнаружено на опыте в 1933 г. в независимых работах Жолио/45, 46/ и Тибо /47,48/. В этих работах было установлено, что при аннигиляции на каждый позитрон приходится  $\sim 2$  кванта с ожидаемой энергией  $\sim 500$  кэВ. Клемперер установил дополнительный факт, соответствующий теоретическим представлениям об акте аннигиляции: два  $\gamma$ -кванта аннигиляции испускаются одновременно (это было показано с помощью метода совпадений).

Упомянутая работа /41/ группы Алиханова была следующим шагом в изучении аннигиляции, причём ее главной целью была проверка справедливости закона сохранения импульса в отдельном акте аннигиляции позитрона. Источником позитронов в этой работе служил  $^{30}\text{P}$  ( $T_{1/2} = 2,5$  мин), полученный путем облучения алюминия  $\alpha$ -частицами  $\text{RaC}'$ . Источник помещался в латунную трубку, в которой и происходила аннигиляция позитронов. По обе стороны от источника находились два  $\gamma$ -детектора (каждый из них состоял из двух газоразрядных счётчиков, поставленных один за другим по ходу  $\gamma$ -квантов). Измерялись совпадения между импульсами в этих двух детекторах в зависимости от угла между ними. Число совпадений при угле  $\theta = 180^\circ$  было больше, чем при  $\theta = 90^\circ$ , причём наблюдавшиеся числа совпадений в пределах ошибок опыта были равны ожидаемым. Авторы сделали следующие выводы: аннигиляционные  $\gamma$ -кванты испускаются в противоположных направлениях; угол разлета лежит в пределах  $150-180^\circ$ , что соответствует малой энергии позитрона в момент аннигиляции - меньше 80 кэВ. Таким образом, были подтверждены все предсказания Дирака о характеристиках акта аннигиляции позитрона и электрона, и показано, что в этом явлении соблюдается закон сохранения импульса.

### 5. Исследования А.И.Алиханова по $\beta$ -распаду

Параллельно с исследованиями парной конверсии Алиханов на протяжении ряда лет (1934-1940) изучал также  $\beta$ -спектры искусственно радиоактивных нуклидов (ИРН). Этим лаборатория Алиханова занялась сразу после открытия И.Кюри и Ф.Жолио искусственной радиоактивности (их статья /49/ была опубликована в январе 1934 г.).

В работе /49/ новое явление было продемонстрировано на примере трёх радионуклидов с очень короткими периодами полураспада, полученных при облучении  $\text{Al}$ ,  $\text{B}$  и  $\text{Mg}$   $\alpha$ -частицами полония. Было предположено, что все они возникают в реакциях типа  $(\alpha, n)$  и на этом основании активности были приписаны определённым нуклидам (в скобках указаны найденные в /49/ периоды полураспада):  $^{30}\text{P}$  (3,25 мин),  $^{13}\text{N}$  (14 мин) и  $^{27}\text{Si}$  (2,5 мин).\*)

\*) По современным данным  $T_{1/2} (^{30}\text{P}) = 2,50$  мин и  $T_{1/2} (^{13}\text{N}) = 9,96$  мин. Что касается  $^{27}\text{Si}$ , то такое (см. след. стр.)

По крайней мере, два из трёх новых ИРН -  $^{30}\text{P}$  и  $^{13}\text{N}$  - оказались  $\beta^+$ -активными, что было установлено с помощью камеры Вильсона и так называемого метода трохойды. Такой тип  $\beta$ -распада был новым и неожиданным - он никогда не наблюдался в области естественной радиоактивности.

В статье И.Кори и Ф.Жолио /50/, опубликованной в апреле 1934 г., было дано более подробное описание первых опытов по искусственной радиоактивности. Уточнялось, что при облучении магния  $\alpha$ -частицами получают две активности: одна электронная (что было существенно новым результатом), с границей спектра  $\sim 2,2$  МэВ, вторая - позитронная, с границей спектра  $\sim 1,5$  МэВ.

Сообщалось, что магниевая мишень испускает больше электронов, чем позитронов. Было предложено приписать электронную активность алюминию-28, полученному в реакции  $^{25}\text{Mg}(\alpha, p)$ . Измеренный на опыте период 2,25 мин предлагалось приписать  $^{28}\text{Al}$ . Позитронная активность в реакции  $\text{Mg} + \alpha$  по-прежнему приписывалась  $^{27}\text{Si}$ . Вопрос о ее периоде оставался открытым.

Первая работа группы Алиханова по  $\beta$ -спектрам ИРН отправлена в печать 13 мая 1934 г. /51/. Здесь, как и в работе /49/, исследована искусственная радиоактивность, возникающая при облучении магния  $\alpha$ -частицами. Важным результатом этой работы было наблюдение испускания  $\beta^-$ -частиц искусственно полученным нуклидом<sup>\*</sup>). Было установлено, что облученный магний испускает с периодом  $\sim 3$  мин в основном электроны - их в 4 раза больше, чем позитронов. Поскольку испускание  $\beta^-$ -частиц ИРН было новостью, статья /51/ называлась "Новый тип радиоактивности". Было предложено приписать электронную активность алюминию-28 или алюминию-29, полученному в реакции  $^{25}\text{Mg}(\alpha, p)$  или  $^{26}\text{Mg}(\alpha, p)$ . Период  $^{28}\text{Al}$  уже был хорошо известен ( $\sim 2,3$  мин), о периоде  $^{29}\text{Al}$  данных не было. (Теперь известно, что  $T_{1/2} (^{29}\text{Al}) = 6,6$  мин. Трудно сказать, почему актив-

---

приписание было ошибочным, так как период кремния-27 равен  $\sim 4,1$  с. Об этой ошибке еще будет сказано в дальнейшем.

\* ) Это исследование было выполнено независимо от Кори и Жолио, статья которых /50/ еще не была известна Алиханову.

ность с таким периодом не была замечена в /51/. Вопрос о приписании позитронной активности не ставился.

С помощью уже работавшего в лаборатории магнитного спектрометра /23/ был измерен  $\beta^-$ -спектр магниевой мишени. Граничная энергия спектра оказалась равной  $\sim 2$  МэВ<sup>\*</sup>).

Отметим, что работа /51/ была первой, в которой для анализа  $\beta^-$ -спектра ИРН был применен магнитный спектрометр. В ряде первых работ в этой области, появившихся после открытия искусственной радиоактивности,  $\beta^-$ -спектры изучались либо с помощью камеры Вильсона в магнитном поле, либо по методу поглощения (в последнем случае можно получить лишь грубую оценку верхней границы спектра). Несомненно, метод магнитного спектрометра позволяет со значительно меньшей затратой времени получать гораздо более точные данные о форме и границе  $\beta^-$ -спектра. Тем не менее, в течение последующих нескольких лет во многих лабораториях при изучении ИРН применялись только первые два метода. (Исключением является лишь работа группы Эллиса /53, 54/ из лаборатории Резерфорда. У этой группы были давние  $\beta^-$ -спектрометрические традиции. Здесь был независимо, но с несколько более поздней публикацией, разработан тот же метод магнитного анализа  $\beta^-$ -спектров ИРН, что и в лаборатории Алиханова, с применением детектора из двух включенных на совпадения счётчиков). Поэтому результаты по  $\beta^-$ -спектрам ИРН, исходившие из лаборатории Алиханова, считались очень надежными и на них часто ссылались.

---

\* Исходя из современных табличных данных, можно утверждать, что при облучении магния  $\alpha$ -частицами с энергией 5-8 МэВ, т.е. в реакциях типа  $(\alpha, p)$  и  $(\alpha, n)$ , в обычных условиях эксперимента могут наблюдаться только две активности (обе электронные) -  $^{28}\text{Al}$  (2,24 мин) и  $^{29}\text{Al}$  (6,6 мин). Что же касается позитронной активности  $^{27}\text{Si}$ , образующейся в реакции  $^{26}\text{Mg}(\alpha, n)$ , заметить наличие позитронов не представляется возможным, т.к. период слишком мал ( $\sim 4$  с). Поэтому факт наблюдения позитронов из магниевой мишени в работах /49-51/ можно объяснить либо наличием какой-либо примеси к облучаемому магнию, либо тем, что наблюдались позитроны внешней и внутренней ЦК, связанные с распадом  $^{29}\text{Al}$ . В пользу последнего предположения говорит результат, полученный в работе /52/: период позитронной активности магниевой мишени оказался равным 5-7 мин.

Весной 1934 г. появились первые работы римской группы Э.Ферми, в которых для получения ИРН применялось облучение мишеней нейтронами /55,56/. Для этих частиц не существует кулоновского барьера, так что появилась возможность изучать активирование мишеней с любым атомным номером. Особенно важным для практической работы было сделанное римской группой открытие - большой рост выхода активности ИРН при замедлении нейтронов.

В лаборатории Алиханова сразу после ознакомления с этими результатами перешли на получение ИРН (для изучения  $\beta$ -спектров) с помощью медленных нейтронов. В работе /57/ Алиханов с сотрудниками дали обзор своих результатов. Указаны граничные энергии 14-ти ИРН, показана форма спектров. Помимо получения надежных данных о  $\beta$ -спектрах ИРН авторы /57/ стремились на основе достаточно обширного экспериментального материала произвести его систематизацию и установить, существует ли закономерная связь между периодом полураспада данного ИРН и границей

$\beta$ -спектра (например, типа известных кривых Сарджента, относящихся к области естественной радиоактивности). Фактически, как показывает опыт современной ядерной спектроскопии, для такой систематизации нужны гораздо более подробные исследования излучений радиоактивных ядер, с составлением надежной схемы уровней и  $\beta$ - и  $\gamma$ -переходов между ними, чем это было возможно в 30-е годы. Неудивительно поэтому, что в работе /57/ искомая закономерность не прослеживалась.

Следующая работа Алиханова с сотрудниками /58/ была посвящена вопросу о зависимости формы  $\beta$ -спектров ИРН от атомного номера излучателя. Особое внимание было уделено усовершенствованию спектрометра, которое позволило бы свести к минимуму искажение формы спектра в области малой энергии  $\beta$ -частиц. Было установлено на опыте, что, как это и следует из теории  $\beta$ -распада Ферми, несомненно существует зависимость формы  $\beta$ -спектра от заряда ядра. Характер асимметрии спектра, разный для электронов и позитронов, можно объяснить кулоновскими силами, действующими между ядром и испускаемыми им заряженными частицами\*).

\* ) Позже один из участников работы /58/ в сотрудничестве с Л.Н.Зыряновой посвятил этому вопросу обстоятельную монографию /59/.

Последние довоенные работы группы Алиханова в области  $\beta$ -распада были посвящены сложному вопросу о реальной возможности оценить массу покоя нейтрино (точнее - электронного антинейтрино -  $\bar{\nu}_e$ ) на основании изучения формы  $\beta$ -спектра вблизи его верхней границы. Существенная экспериментальная трудность исследований такого рода связана с тем, что у самой границы спектра число  $\beta$ -частиц близко к нулю. Кроме того, необходимым условием проведения такого исследования является применение спектрометра с высоким разрешением. Именно прибор с достаточным, как тогда казалось, разрешением и был впервые использован в работе /60/, посвященной исследованию конца  $\beta$ -спектра  $RaE$ . Тем не менее, поставленную задачу решить не удалось. Причин было много. В частности, неожиданно оказалось, что очень близко от границы спектра наблюдается резкое изменение хода кривой. Поскольку впоследствии в работах многих авторов подобного излома не наблюдали, следует предположить, что в /60/ он был результатом аппаратных помех - вероятно, попадания в счётчик рассеянных  $\beta$ -частиц. Кроме того, как показали результаты дальнейших теоретических и экспериментальных работ, проводившихся в течение многих лет, именно  $RaE$  является крайне неудачным объектом для решения вопроса о массе нейтрино, так как форма  $\beta$ -спектра этого нуклида (несмотря на то, что  $\beta$ -переход  $RaE \rightarrow RaF$  является неуникальным переходом типа  $\Delta I = 1$  с изменением чётности) вследствие случайного стечения обстоятельств сильно отличается от фермиевской; теоретики и в настоящее время не могут точно объяснить наблюдаемый спектр /61, с.87/.

Сотрудники лаборатории Алиханова упорно возвращались к попыткам оценки массы нейтрино, изучая  $\beta$ -спектры вблизи границы. С помощью того же магнитного спектрометра Алиханьян и Никитин исследовали концы спектров  $ThC$  ( $^{212}Bi$ ) и  $RaC$  ( $^{214}Bi$ ) /62, 63/. Был получен вывод, что в этих случаях форма  $\beta$ -спектра вблизи границы явно отличается от предсказываемой теорией Ферми при  $m_\nu = 0$ . В дальнейшем Алиханьян и Никитин построили усовершенствованный магнитный спектрометр /64/ и с его помощью повторили исследование  $\beta$ -спектра  $RaE$ . Результаты в основном были такие же, как в /60/.

Оценивая в настоящее время подход к проблеме и результаты серии работ /60, 62-64/, можно сказать следующее. Была поставлена очень интересная, важная задача. Метод определения массы нейтрино, выбранный группой Алиханова, основан на замечаниях, содержащихся в статье Ферми по теории  $\beta$ -распада /65/. В конце 30-х годов это был, по существу, единственный известный метод, с помощью которого можно было надеяться получить некоторые сведения о свойствах загадочной частицы, само существование которой признавалось ещё не всеми. До работы группы Алиханова было опубликовано лишь одно исследование такого рода /66/.

Однако работы /60, 62-64/ были предприняты в известном смысле преждевременно. Действительно, метод основан на сравнении теоретической и экспериментальной формы  $\beta$ -спектра; между тем, оба эти объекта сравнения были известны зачастую лишь в первом приближении. Теория  $\beta$ -распада не давала возможности предсказать форму спектра в специфических случаях запрещенных переходов; не были вычислены различные поправки (экранирование ядра атомными электронами, релятивистские эффекты). С другой стороны, многие полученные на опыте  $\beta$ -спектры, как выяснилось впоследствии, были сильно искажены, особенно в области малых энергий, в силу ряда экспериментальных ошибок (недостаточно тонкие и однородные  $\beta$ -источники, непредвиденное рассеяние электронов на элементах конструкции камеры спектрометра и др.).

При анализе плохо снятых спектров часто получалось хорошее согласие их формы с теоретической, вычисленной с использованием варианта теории  $\beta$ -распада, предложенного Конопинским и Уленбеком /67/. Когда же были получены неискаженные спектры, оказалось, что они, как правило, хорошо описываются теорией Ферми для разрешенных переходов. Вариант Конопинского-Уленбека был признан необоснованным.

Вернёмся после этих замечаний к работам /62-64/. Их авторы пользовались при анализе вариантом Конопинского-Уленбека; по-видимому, как по этой причине, так и вследствие аппаратных помех они, по их словам, пришли к парадоксальным выводам, а именно: значение массы нейтрино для разных  $\beta$ -активных ядер оказалось различным и лежало в пределах  $(0,3+2)$  массы электрона.

Попытки определить массу нейтрино по форме  $\beta$ -спектра вблизи границы продолжаются и поныне - ввиду того, что вопрос о равенстве или неравенстве нулю массы нейтрино имеет фундаментальное значение, в частности - для космологии. Для этих исследований, как указал еще Ферми, наиболее пригодны нуклиды с низкой границей  $\beta$ -спектра; среди них наибольшей популярностью пользовался тритий ( $E_{\beta\beta} \approx 18,6$  кэВ).

Под руководством В.А.Любимова, одного из старых сотрудников Алиханова, в 1975-1981 гг. в ИТЭРе была выполнена прецизионная работа по  $\beta$ -распаду трития /68/. В этой работе была указана не только верхняя, но и нижняя граница для массы нейтрино:  $14 < m_\nu < 46$  эВ.

\*\*\*

Исследования по парной конверсии и  $\beta$ -радиоактивности, выполненные в 1933-1935 гг., были обобщены А.И.Алихановым в его докторской диссертации "Исследование спектров частиц, испускаемых при  $\beta$ -распаде". Её защита состоялась 4 июля 1935 г. на заседании Ученого совета ЛФТИ\*).

Высокая оценка диссертационной работы А.И.Алиханова дана в отзыве одного из официальных оппонентов - Д.В.Скобелевца (вторым оппонентом был П.И.Лукирский). Приведём небольшие выдержки из этого отзыва:

"... А.И.Алиханову принадлежит заслуга использования впервые идеи и осуществления магнитного спектрометра с двумя счётчиками Гейгера-Мюллера в качестве приёмника, регистрирующего фокусируемое  $\beta$ -излучение по принципу совпадений. <... >

Осуществленная А.И.Алихановым аппаратура применена им для изучения образования "пар" (электрон-позитрон) за счёт конверсии, внутренней и внешней,  $\gamma$ -лучей  $RaC$  и  $ThC$  и для изучения  $\beta$ -спектров большого числа искусственных радиоактивных веществ.

А.И.Алиханов показал себя весьма искусным и смелым экспериментатором, не останавливающимся перед значительными экспериментальными трудностями и умеющим их преодолевать. <... >

---

\*) Архив ФТИ им.А.Ф.Иоффе АН СССР, ф.3, оп.1, ед.хр.39. (Протоколы ученого Совета ЛФТИ за 1935 г., л.15-15 об.).

Дальнейшие возможности применения разработанного им метода сейчас даже трудно предвидеть. Разрешение поставленной им задачи представляет некоторый весьма существенный этап в развитии основного метода спектроскопии, которым ядерная физика в настоящее время располагает.

Изложенное, как я полагаю, дает вполне достаточное основание для того, чтобы признать Абрама Исааковича Алиханова достойным степени доктора физико-математических наук.

Профессор Д.Скобельцын<sup>\*)</sup>.

Уже первые работы А.И.Алиханова по ядерной физике выдвинули его в ряды ведущих физико-ядерщиков и принесли ему широкую известность как в нашей стране, так и за ее пределами. В качестве примера укажем на неоднократные ссылки на работы А.И.Алиханова по гарной конверсии и  $\beta$ -распаду, имеющиеся в изданной в 1936 г. книге сотрудника Э.Резерфорда английского физика Н.Фезера /69/.

В октябре 1934 г. в Лондоне проходила международная конференция по физике. В ней участвовали ведущие западноевропейские и американские ученые, работающие в области физики атомного ядра: Ф.Астон, К.Андерсон, Х.Бете, П.Блэкетт, М.Борн, Ф.Жолио, Дж.Кокрофт, А.Комптон, И.Кюри, Ч.Лауритсен, Р.Милликен, П.Оже, М.Олифант, Р.Пайерлс, Э.Резерфорд, Б.Росси, Л.Сцилард, Н.Фезер, Э.Ферми, Дж.Чадвик, Ч.Эллис. На этом представительном форуме Советский Союз был представлен А.И.Алихановым и Д.В.Скобельцыным. А.Ф.Иоффе участвовал в работе другой секции конференции.

В личном деле А.И.Алиханова в архиве ЛФТИ сохранился интересный документ - его отчет о командировке на Лондонскую конференцию. Приведем начальную часть этого документа:

"Отчет о заграничной командировке.

Наркомтяжпромом в сентябре месяце я был командирован в Англию для участия в Лондонской интернациональной физической конференции.

---

\*) Архив ФТИ им. А.Ф.Иоффе АН СССР, ф.3, оп.3, ед.хр.56. Личное дело А.И.Алиханова, л.9-10.

Конференция эта состояла из двух секций: 1/ секция атомного ядра и 2/ секция твёрдого тела.\*) Я был командирован для участия в первой секции. Прибыл в Лондон 2-го октября утром в первый деловой день конференции (официальное начало конференции было 1-го октября). Докладов о своих работах на конференции не мог делать, так как заявку на доклады надо было дать гораздо раньше (последний срок был за 2 месяца до начала конференции), когда еще ничего определённого о командировке не было известно. Конференция продолжалась до 6-го октября включительно. В течение этого времени я посещал заседания секции атомного ядра, а также познакомился с рядом иностранных учёных: Милликен, Оже, Жолио, Тибо, Сцилар и т.д...\*\*).

Из дальнейшего содержания отчёта видно, что после окончания конференции А.И.Алиханов посетил лаборатории ведущих европейских физиков-ядерщиков - Блэкетта (в Лондоне), Чадвика и Эллиса (в Кембридже), супругов Жолио-Кюри и Тибо (в Париже), Л.Майтнер (в Берлине) и провел с ними плодотворные дискуссии\*\*\*). Рассмотренные выше работы А.И.Алиханова по ядерной физике в сопоставлении с исследованиями названных западноевропейских учёных показывают, что со всеми этими учёными его связывала тесная общность научных интересов.

#### 6. Исследования А.И.Алиханова по торможению и рассеянию релятивистских электронов в веществе

К концу 30-х годов справедливость основных положений квантовой механики уже была проверена в многочисленных и разносторонних экспериментах. Тем не менее, в ряде вопросов оставались существенные расхождения между опытными и расчётными данными. К таким вопросам относилось взаимодействие быстрых электронов с веществом. Например, данные о потере энергии электронов после прохождения слоя поглотителя, полученные в разных лабораториях, часто свидетельствовали о том, что эти потери гораздо больше

\*) На этой секции А.Ф.Иоффе сделал два доклада (см. /70/ ).

\*\*\*) Архив ФТИ им. А.Ф.Иоффе АН СССР, ф. 3, оп. 3, ед. хр. 56. Личное дело А.И.Алиханова, л.3-4 об. Полностью отчет А.И.Алиханова приводится в /71/.

\*\*\*\*) В Ленинград А.И.Алиханов вернулся 6 ноября 1934 г.

теоретически ожидаемых. Данные о сечениях рассеяния релятивистских электронов на ядрах, полученные в ряде работ, иногда резко расходились с теорией.

В этой ситуации Алиханов и его группа в 1939 г. решила поставить эксперименты в возможно более чистых условиях и с использованием новой методики, чтобы выяснить, действительно ли существующая релятивистская квантово-механическая теория не даёт правильного описания указанных явлений.

Прежние эксперименты в основном проводились с помощью камеры Вильсона в магнитном поле. Группа Алиханова применила следующий метод [72] для измерения потери энергии электронов в поглотителе. В качестве источника релятивистских электронов был взят активный осадок тория. В этом осадке имеется источник интенсивной жесткой  $\gamma$ -линии ( $\text{ThC}'' \rightarrow \text{ThD}$ ) с энергией 2,62 МэВ. Этот источник испускает также конверсионные электроны, связанные с указанной  $\gamma$ -линией; при этом К-электроны, с энергией 2,55 МэВ, находятся за границей непрерывного  $\beta$ -спектра  $\text{ThC}$  (2,2 МэВ), поэтому с помощью магнитного спектрометра их легко выделить в чистом виде. Используемый в работе спектрометр был того же типа, какой применялся в описанных выше исследованиях группы Алиханова.

Для осуществления прямого метода измерения потерь энергии пучка монокинетических электронов, очевидно, необходимо было бы применение двух магнитных спектрометров, из которых первый выделял бы пик конверсионных электронов и направлял их на поглотитель, а второй измерял бы спектр электронов после прохождения поглотителя. Авторы выбрали более простой, но в известной степени косвенный метод измерения, который позволяет обойтись только одним спектральным прибором. Поглотитель помещается перед радиоактивным источником, и снимается спектр прошедших сквозь поглотитель электронов в области, близкой к энергии конверсионного пика (2,55 МэВ). По сравнению с исходным этот спектр выглядит как смещённый и уширенный пик. По "центру тяжести" смещённого пика вычисляется средняя удельная потеря энергии электрона  $dE/dx$ . Опыты производились с поглотителями разной толщины из алюминия и свинца. В результате измерений был получен вывод, что в пределах ошибок опыта никаких расхождений с теоретическим расчётом нет.

Вторая работа этого направления /73/ была посвящена проверке предсказаний теории однократного рассеяния релятивистского электрона в результате упругого столкновения с ядром. Приблизительно монокинетический пучок электронов, выделенный из  $\beta$ -спектра радона и его продуктов с помощью магнитного спектрометра, попадал на тонкий рассеиватель, и число электронов, рассеянных на угол  $90^\circ$ , измерялось телескопом из двух счётчиков Гейгера-Мюллера. Особое внимание было уделено выбору такой толщины поглотителя, при которой заведомо происходило только однократное рассеяние электрона на ядре мишени. Критерием такого рассеяния была пропорциональность между числом рассеянных электронов и толщиной рассеивателя. Энергия электронов изменялась в пределах от 600 кэВ до 2 МэВ. В качестве рассеивателей были взяты пластинки из целлулоида, алюминия, меди и золота ( $Z \sim 7-79$ ). Измерения показали, что зависимости сечения рассеяния от энергии электронов и от порядкового номера элемента рассеивателя, а также абсолютные величины сечений вполне удовлетворительно согласуются с выводами релятивистской квантовой механики. Только результаты, полученные с золотым поглотителем, существенно расходятся с теоретическим расчётом: экспериментальное сечение рассеяния электронов на угол  $90^\circ$  оказалось в 2,3 раза меньше теоретического значения. Заметим, что в подробной статье группы Алиханова /74/, посвященной тому же вопросу и опубликованной в 1946 г., данные для золотого рассеивателя не изменились. Расхождение не было объяснено.

## 7. Последние предвоенные годы

К концу 1938 г. относятся разработка и подготовка Алихановым и его группой очень интересного и актуального в те годы эксперимента по косвенному доказательству существования нейтрино<sup>\*</sup>). Об интересе Алиханова к этому вопросу и об избранном в его лаборатории подходе к задаче определения массы покоя нейтрино уже

---

\* ) Архив ФТИ им. А. Ф. Иоффе, ф. 3, оп. I, ед. хр. 91 "Отчёт о научно-исследовательской и финансовой деятельности института за 1939 г.", л. 22-23; ф. 3, оп. I, ед. хр. 100 "Отчёт о научно-исследовательской деятельности института за 1940 г.", л. 1-2.

упоминалось выше.

Как известно, первые опыты, имевшие целью косвенное доказательство существования нейтрино, были предприняты А.И.Лейпунским в 1936 г. /75/. Была сделана попытка измерить спектр ядер отдачи при  $\beta$ -распаде ядер  $^{14}\text{C}$ . Как позже отметил Лейпунский /76, с.339/, "толкование результатов этого опыта не может считаться совершенно определённым... При наличии очень сильного источника активного углерода этот метод в несколько иной схеме опыта может дать возможность выяснить непротиворечиво вопрос о существовании нейтрино". Недостаток метода, предложенного Лейпунским, состоит в том, что при  $\beta$ -распаде энергетический спектр ядер отдачи непрерывен, и это затрудняет интерпретацию результатов. После открытия явления захвата ядром орбитального электрона (это явление предсказано в 1934 г. Дж.Виком /77/ и открыто в 1938 г. Д.Альваресом /78/) появилась новая возможность постановки опыта, связанного с вопросом о существовании нейтрино. При захвате орбитального электрона в наиболее благоприятных случаях все испускаемые ядрами нейтрино имеют одну и ту же энергию, так что этим же свойством моноэнергичности обладают и ядра отдачи. Наблюдение таких ядер и явилось бы косвенным доказательством существования нейтрино.

На эту новую возможность обратили внимание в лаборатории Алиханова. По словам М.С.Козодаева, в конце 1938 г. на одной из оживлённых дискуссий, часто разгоравшихся в лаборатории Алиханова (в них принимали участие и наведывавшиеся в лабораторию А.Ф.Иоффе, И.Е.Тамм и особенно Л.А.Арцимович), Артемий Исаакович Алиханьян выдвинул идею об использовании ядер  $^7\text{Be}$ , создающихся путем захвата электрона, для косвенной проверки существования нейтрино. Такое предложение было связано с только что появившейся статьей о свойствах  $^7\text{Be}$  /79/. Этот нуклид получается в реакции  $^6\text{Li}(d, n)$  и распадается с периодом  $\sim 53$  дня, причём примерно в 10% всех случаев распад идёт на возбуждённый уровень дочернего ядра  $^7\text{Li}$  ( $\Delta E \sim 480$  кэВ). Алиханьян указал, что  $^7\text{Be}$  является очень удачным объектом предложенных экспериментов по следующим причинам: достаточно удобная величина периода полураспада, достаточно большая разность масс  $^7\text{Be}$  и  $^7\text{Li}$  и малая масса ядра отдачи, в результате чего расчётная энергия ядра отдачи составляет  $\sim 60$  эВ и измерение её не

должно вызывать больших затруднений, если оно производится в вакууме. Некоторым недостатком ядра  ${}^7\text{Be}$  для задуманных экспериментов является только то, что ожидаемый спектр ядер отдачи состоит не из одной, а из двух линий, поскольку, как упоминалось, часть ядер  ${}^7\text{Be}$  распадается на возбужденный уровень дочернего ядра.

Осенью 1939 г. под руководством Алиханова началась подготовка к проведению экспериментов. В довоенной литературе можно встретить лишь краткие упоминания об этом, без изложения деталей опыта /80, с.12; 81, с.100/. Алиханов и Алиханьян наметили следующую схему эксперимента /82, с.208/. Радиоактивный препарат  ${}^7\text{Be}$  в виде моноатомного слоя наносится на металлическую подложку, которая служит одной из обкладок плоского конденсатора. Его вторая обкладка - сетчатый электрод с высоким коэффициентом прозрачности. Дочернее ядро  ${}^7\text{Li}$  получает отдачу от нейтрино, рожденного при захвате электрона ядром  ${}^7\text{Be}$ ; ядро отдачи в виде иона покидает поверхность металла. Энергия таких ионов определяется по методу задерживающего потенциала, подаваемого на описанный выше конденсатор. Часть ионов отдачи, преодолевая задерживающее электрическое поле, проходит через сетчатый электрод и после ускорения разностью потенциалов  $\sim 6$  кВ попадает на специально обработанный металлический электрод (катод). С его поверхности в результате вторичной электронной эмиссии выбиваются электроны. Ускоренные до 6 кэВ, эти электроны фокусируются слабым поперечным магнитным полем на окошко счётчика Гейгера-Мюллера. Таким образом, установка представляет собой спектрометр для очень низкоэнергичных ионов с высокочувствительным детектором на выходе. Электронно-оптические расчёты прибора были выполнены Я.Л.Хургиним.

Главной трудностью запланированных экспериментов, как полагали Алиханов и Алиханьян, было получение плотного моноатомного слоя атомов  ${}^7\text{Be}$ , который давал бы максимальный поток нейтрино. Изготовление источника предполагалось осуществить осенью 1941 г. на циклотроне Радиевого института АН СССР (РИАН). По словам Б.С.Джелепова, к началу 1941 г. уже был изготовлен стеклянный прибор. Подготовка опытов была прервана в начале Великой Отечественной войны.

В 1942 г. измерение спектра ядер отдачи при распаде  ${}^7\text{Be}$  было успешно выполнено в США Дж. Алленом /83/. Это - ещё один из многочисленных в науке примеров независимого возникновения одинаковых идей.

х х х

Война помешала также завершению строительства циклотрона ЛФТИ, с полюсными наконечниками диаметром 1,2 м и массой электромагнита ~75 т. Инициаторами и руководителями всего комплекса работ были Курчатов и Алиханов /84, с.87/. Главными их помощниками были Я.Л.Хургин (теоретические расчёты), Л.М.Неменов, к которому позже присоединился В.П.Джелепов /85/, и П.Я.Глазунов. Торжественная закладка здания циклотронной лаборатории была проведена 22 сентября 1939 г., строительство его было закончено к началу лета 1941 г. Пуск циклотрона был намечен на 1 января 1942 г. В военные годы строительство было законсервировано. Циклотрон ЛФТИ был введён в строй в 1946 г. /84, с.95/.

Стоит заметить, что Абрам Исаакович в 1937-1941 гг. по совместительству работал в руководимом Л.В.Мысовским физическом отделе РИАН в качестве консультанта института. В этом отделе с 1935 г. в таком же качестве работал Курчатов, который и привлёк Алиханова к работе в РИАНе. С августа 1937 г. Курчатов заведовал циклотронной лабораторией этого института, а с 1 апреля 1939 г. в связи с болезнью Мысовского возглавил физический отдел (работа по совместительству).

В Радиевом институте с 1937 г. нерегулярно и на пониженной мощности работал циклотрон - первый циклотрон в Европе, с диаметром полюсных наконечников 1 м и массой электромагнита ~31 т. Его строила группа физиков и инженеров под руководством Л.В.Мысовского, в которую входили Д.Г.Алхазов, В.Н.Рукавишников, К.А.Бризмейстер; позже к ним присоединился В.П.Джелепов. Пуск циклотрона в нормальную эксплуатацию был осуществлён под руководством Курчатова. Большое участие в пуске принял и Абрам Исаакович.

Как вспоминает Б.С.Джелепов, в РИАНе у Алиханова в качестве аспиранта работал В.А.Яковлев. Он занимался разработкой магнитного  $\beta$ -спектрометра, который предполагалось установить в непосредственной близости от циклотрона РИАН с целью изучения

$\beta$ -спектров короткоживущих ИРН, получаемых на циклотроне. Изготовление этого  $\beta$ -спектрометра было достаточно продвинуто, но дальнейшие работы с ним были прерваны войной и уходом Яковлева на фронт.

#### 8. Исследования А.И.Алиханова по изучению космических лучей (1939-1943 гг.)

Первые в нашей стране исследования по физике космических лучей начали проводиться в Ленинграде по инициативе заведующего физическим отделом Государственного радиового института (ГРИ, впоследствии радиевый институт Академии наук СССР, РИАН), проф. Л.В.Мысовского. Относится это ко второй половине 20-х годов, - времени, когда А.И.Алиханов был ещё студентом Политехнического института<sup>\*)</sup>. В 1925-26 гг. Л.В.Мысовский и Л.Тувим открыли барометрический эффект космических лучей и изучали их угловое распределение. Отметим еще одну работу Л.В.Мысовского: под его руководством были разработаны толстослойные фотопластинки, которые позднее сыграли такую большую роль в соответствующих исследованиях. Другой сотрудник ГРИ, проф. А.Б.Вериго, выполнил серию работ по изучению интенсивности космических лучей ниже уровня моря (исследование на подводной лодке, 1930 г.) и на больших высотах - с помощью стратостатов и шаров-зондов (1933-1935 гг.).

В 1927 г. в ЛФТИ приступил к своим, ставшим широко известными, исследованиям по космическим лучам Д.В.Скобелевич - его работы сделали Институт одним из мировых центров в этой области физики<sup>\*\*)</sup>.

---

\*) Интересно отметить, что часть этих работ проводилась на территории Политехнического института, в частности, на высокой водонапорной башне, построенной там в начале века (и существующей поныне).

\*\*) Об истории исследований космических лучей см. в обстоятельной книге И.В.Дорман /86/; советские исследования в этой области науки подробно освещены в известной монографии Н.А.Добротина /87/.

После открытия позитрона интерес к космическим лучам резко повысился. Это нашло свое отражение во включении соответствующих исследований в программу первых в СССР комплексных экспедиций на Эльбрус в 1934-1935 гг., организованных по инициативе, прежде всего, Г.М.Франка (до 1933 г. бывшего сотрудником ФТИ и Агрофизического института, выделившегося из него). Эту инициативу поддержали С.И.Вавилов как директор ФИАН и ведущий сотрудник Государственного оптического института и А.Ф.Иоффе, который выступил при этом в качестве директора Агрофизического института. Отчет о работе экспедиции содержится в 68/. Мы подчеркнем здесь, что важные исследования космических лучей с помощью камеры Вильсона, поднятой на высоты от 2100 до 4200 м н.у.м., были выполнены В.В.Антоновым-Романовским, Н.Л.Григоровым, Н.А.Добротиним, И.М.Франком (ученым секретарем экспедиции) и П.А.Черенковым.

Примерно в то же время были организованы и первые экспедиции в Армению, связанные с изучением космического излучения; С.Н.Вернова (1934 г.), В.М.Дукельского и Н.С.Ивановой (ЛФТИ, 1935 г.).

Последняя экспедиция ЛФТИ была предпринята по инициативе Д.В.Скобельцына и проводилась совместно с Ереванским университетом. В ее цели входило изучение восточно-западной асимметрии космического излучения.

Такие экспедиции продолжались и в более позднее время. Можно думать, что новым стимулом к их проведению явилось открытие мюонов.

Весной 1939 г. в лаборатории Алиханова в ЛФТИ были начаты исследования космического излучения - единственного в те годы источника частиц высоких энергий. По инициативе и под руководством Алиханова П.Е.Спивак провел эксперименты по изучению переходных кривых заряженной (электроны) и нейтральной ( $\gamma$ -кванты) частей мягкой компоненты космического излучения. В этих экспериментах была впервые использована схема антисовпадений, разработанная М.С.Козодаевым. Опыты проводились как на уровне моря - в Ленинграде, так и на высоте около 3000 м над уровнем моря (П.Е.Спивак участвовал в очередной комплексной экспедиции АН СССР на гору Эльбрус в 1940 г.). Результаты этих исследований хорошо согласовались с данными лавинной теории ливней.

В этой эльбрусской экспедиции принимал участие ещё один сотрудник Алиханова — С.Я.Никитин<sup>\*</sup>). Он совместно с Н.В.Федоренко (сотрудником Л.А.Арцимовича) провел на Эльбрусе эксперименты по измерению на разных высотах углового распределения и интенсивности мягкой компоненты космических лучей. В результате этих экспериментов было установлено, что эта компонента состоит в основном из электронов, образующихся при распаде мезотронов (так называли открытые незадолго до этого — в 1937 г. — мюоны), а также была произведена оценка времени их жизни.

Результаты первых исследований по изучению свойств космических лучей, проведенных сотрудниками Алиханова, были представлены П.Е.Спиваком и С.Я.Никитиным на V Всесоюзном совещании по физике атомного ядра, состоявшемся в Москве 20–26 ноября 1940 г.

Надо сказать, что, хотя на этом совещании основное внимание было уделено проблемам деления ядер урана, целый ряд докладов был посвящён физике космических лучей, а более точно — мезонам. Теоретические вопросы, связанные с мезонами, обсуждались в основном докладе И.Е.Тамма, в докладах В.Б.Берестецкого, Д.Д.Иваненко и А.А.Соколова, Л.Д.Ландау. Помимо названных выше докладчиков-экспериментаторов из ЛФТИ, от ФИАН выступил В.И.Бекслер.

Алиханов в конце 30-х годов на основе анализа известных в то время экспериментальных данных, в частности, результатов, полученных его сотрудниками, обратил внимание на систематическую зависимость величины интенсивности мягкой компоненты космического излучения от метода измерения. Так, поглощение мягкой компоненты, определённое с помощью счётчиков, оказывалось меньше, чем при измерении его методом ионизационной камеры. Таким образом, мягкая компонента космических лучей обнаруживала большую ионизационную способность, чем это следовало бы для известного в те годы её состава. На основании этого факта Алиханов высказал предположение о существовании третьей — протонной компоненты космического излучения; впервые он рассказал о ней на ядер-

---

<sup>\*</sup>) При составлении этого параграфа авторы во многом базировались на воспоминаниях С.Я.Никитина (другие источники специально указываются).

ном семинаре ЛФТИ в марте 1940 г.

Для осуществления широкой программы исследования космических лучей, в частности, поиска протонной компоненты, в конце 1940 г. в ЛФТИ под руководством Алиханова начали готовиться к экспедиции на Восточный Памир. В Архиве ФТИ сохранилось большое дело (содержащее 87 листов), относящееся к этой работе, проводившейся в соответствии с постановлением Президиума АН СССР. Экспедиция намечалась на период с июня по 10 сентября 1941 г. В её состав, по плану, должно было входить 11 человек, в том числе несколько опытных альпинистов из Одессы и Архангельска. К участию в работе экспедиции ЛФТИ предполагалось привлечь Г.М.Франка, работавшего в то время во Всесоюзном институте экспериментальной медицины; Г.М.Франк имел большой опыт соответствующей работы со времён Эльбрусских комплексных экспедиций. В задачи экспедиции входило исследование космических лучей на рекордных по тому времени высотах до 6000 м над уровнем моря. Из материалов дела\*) видно, что к весне 1941 г. аппаратура была уже полностью изготовлена и трудности ожидалась лишь с её доставкой к месту экспедиции (площадки для работы были определены во время "разведывательной" поездки на Памир летом 1940 г.) и последующей перевозкой на опорные её пункты, где, на разных высотах, предполагалось производить измерения. Питание аппаратуры должно было осуществляться от аккумулятора, заряжаемого через генератор постоянного тока, работающий от ветродвигателя. Подавляющее число официальных бумаг, связанных с подготовкой экспедиции, подписано её научным руководителем - А.И.Алихановым.

По воспоминаниям С.Я.Никитина, входившего в состав экспедиции, в программу её работ были включены следующие исследования:

а) измерения углового распределения и интенсивностей мягкой и жесткой компонент космического излучения в интервале высот - от уровня моря до 4000 м над уровнем моря\*\*\*) - с помощью телескопа счётчиков Гейгера-Мюллера (установка разрабатывалась С.Я.Никитиным);

\*) Архив ФТИ им. А.Ф.Иоффе, ф.3, оп.1, ед.хр.116. Переписка об организации Памирской экспедиции по космическим лучам (12 апреля - 27 июня 1941 г.)

\*\*) В материалах указанного выше дела фигурирует цифра 6000 м.

б) измерение интенсивностей мягкой и жёсткой компонент в том же интервале высот с помощью ионизационной камеры, а также измерение поглощения мягкой компоненты в воде высокогорных озёр на высотах 3000-4000 м над уровнем моря (аппаратура разрабатывалась Алихановым);

в) непосредственный поиск сильноионизирующих частиц с помощью импульсной ионизационной камеры (соответствующий прибор разрабатывался П.Е.Сливаком);

г) регистрация распада мюонов осциллографическим методом (установка разрабатывалась М.С.Козодаевым).

Осуществлению этих планов помешала начавшаяся война.

Для реализации вышеупомянутой программы по исследованию космических лучей летом 1942 г. под руководством Алиханова была организована экспедиция ЛФТИ в Армению, на гору Арагац. Подготовка к ней началась в Казани, куда был эвакуирован ЛФТИ. В первые месяцы 1942 г., непосредственно вслед за разгромом фашистских войск под Москвой, состоялась беседа А.И.Алиханова и А.И.Алиханьяна с акад.С.И.Вавиловым, поддерживающим идею об экспедиции/89/. Такая же поддержка была оказана сотрудниками ФТИ со стороны А.Ф.Иоффе (бывшего в то время вице-президентом АН СССР) и П.Л.Капицы. П.Л.Капица и А.Ф.Иоффе подписали "Удостоверение", выданное Алиханову 5 мая 1942 г. в том, что он является начальником Высотной экспедиции ЛФТИ, отправляемой в Армянскую ССР для выполнения программы исследования космических лучей\*).

Поскольку настоящая работа посвящена рассмотрению деятельности Алиханова в ЛФТИ, т.е. имеет чёткие временные рамки (1927-1943 гг.), мы ограничимся указанием только на результаты, полученные им и его сотрудниками во время двух первых экспедиций на Арагац - 1942 и 1943 гг. Эти результаты подтвердили факт расхождения в величине интенсивностей мягкой и жесткой компонент космического излучения, измеренных с помощью счётчиков Гейгера-Мюллера и ионизационной камеры. Как уже указывалось, Алиханов предположил, что это расхождение можно объяснить, если допустить,

---

\*) Копия этого удостоверения - один из последних документов, хранящихся в личном деле А.И.Алиханова в ФТИ им. А.Ф.Иоффе АН СССР.

что в составе космических лучей имеются протоны с высокой энергией (от 100 МэВ и выше). Об этих работах Алиханов от своего и А.И.Алиханьяна имени рассказал на сессии Академии наук СССР в 1943 г. /90/, а несколько позднее - на юбилейной сессии Академии наук в июне 1945 г. /91/.

В работах группы сотрудников ФИАН, проводившихся на Памире в сентябре-ноябре 1944 г. (как видим, идея такой экспедиции реализовалась в условиях Великой Отечественной войны!) на высоте 3860 м над уровнем моря, в составе космического излучения также были зафиксированы протоны с энергией порядка 200 МэВ, но, в отличие от данных группы, работавшей в горах Армении, их число оказалось существенно меньшим. Результаты работ Памирской экспедиции приводятся в докладах Д.В.Скобелыцына, сделанных в январе /92/ и июне /93/ 1945 г.\*) Однако, сам факт существования протонов больших энергий на этих высотах представляется несомненным (см., например, цитированную выше монографию Н.А.Добротина /87, с.81 и 246-247), а также статью /94/, в которой этот вопрос подробно обсуждается).

Специально подчеркнем, что высокогорные экспедиции 1942-43 и последующих лет имели большое значение не только в научном, но и ещё в одном плане. А именно, они явились прекрасной школой для целой плеяды армянских ученых, сыгравших впоследствии решающую роль в становлении и развитии физической науки в Армении /95/.

### 9. Педагогическая деятельность А.И.Алиханова

Параллельно с научно-исследовательской работой в ЛФТИ и ФИАН Алиханов с лета 1934 г. начал заниматься интенсивной преподавательской деятельностью. Как следует из его личного дела, хранящегося в Архиве Ленинградского политехнического института им.М.И.Калинина (д. № 81), с 8 июня он - ассистент кафедры экспериментальной физики, которой заведовал Д.В.Скобелыцын. Ещё ранее, с 1930 г., т.е., по существу, сразу после окончания физико-механического факультета, Алиханов становится заведующим лабораторией рентгеновских лучей ФМФ (позднее, с 1935 г. во главе

---

\*) Впрочем, в докладе /93/ сравнение результатов, полученных на Памире и на горе Арагац, не проводится.

этой лаборатории стал А.И.Алиханьян). С 1934 г. Абрам Исаакович, помимо руководства дипломными работами студентов, в течение более 3 лет читал на ФМФ ряд специальных курсов, в частности, курс оптики и физики рентгеновских лучей. С апреля 1935 года он руководит (в течение полутора лет) специальной физической лабораторией ФМФ, в которой проходили практику студенты факультета.

С февраля 1938 г. Алиханов — заведующий кафедрой физики Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТ). Работая в течение трёх предвоенных лет в стенах этого старейшего ленинградского высшего учебного заведения, профессор Алиханов интенсивно занимался усовершенствованием методики преподавания физики в вузе, наладил на кафедре научную работу, принимал активное участие в научных съездах и конференциях, создаваемых в ЛИИЖТ, читал научно-популярные лекции для преподавателей и студентов института\*).

#### Ю. Заключительные замечания

К началу Великой Отечественной войны в нашей стране было четыре крупных центра исследований по ядерной физике: ЛФТИ, РИАН, ФИАН им. П.Н.Лебедева и Харьковский ФТИ. В ЛФТИ, в тесном взаимодействии друг с другом, работали два больших (по тем временам) коллектива: И.В.Курчатова и А.И.Алиханова; несколько позднее, но тоже в довоенные годы, начала сформировываться сильная группа Л.А.Арцимовича. У И.В.Курчатова с 1933 г., а у А.И.Алиханова — с 1938г. были "свои" ядерные семинары. Рассмотрение тематики этих исследований позволяет говорить о возникновении в эти годы двух школ в ядерной физике нашей страны. Наиболее крупными представителями школы Алиханова, начинавшими работать у него в лаборатории ЛФТИ в довоенные годы, являются А.И.Алиханьян, Б.С.Джелепов, М.С.Козодаев, С.Я.Никитин, П.Е.Спивак.

Высокая оценка деятельности Алиханова содержится в характеристике, подписанной (за директора ЛФТИ) Л.А.Арцимовичем в конце 30-х годов. Приведём выдержку из неё: "... Д-р А.И.Алиха-

---

\*) Эти сведения почерпнуты из материалов Архива ЛИИЖТ, ед.хр. 17, личное дело А.И.Алиханова, л.15.

нов является одним из крупнейших физиков в СССР. Ему принадлежит руководящая роль в советской ядерной физике. Работы Алиханова в области изучения позитронов и искусственной радиоактивности создали ему мировую известность.

Лаборатория, руководимая Алихановым А.И., по своим научным достижениям в области физики атомного ядра стоит наравне с лучшими лабораториями Англии и США<sup>\*)</sup>.

Когда при Физико-математическом отделении Академии наук СССР была создана Комиссия по ядру, возглавленная С.И.Вавиловым, среди её членов (А.Ф.Иоффе, В.И.Векслер, И.В.Курчатов, И.М.Франк, А.И.Шпетный) был и Алиханов /96, с.129/<sup>\*\*</sup>. Абрам Исаакович принимал активное участие во всех пяти довоенных конференциях (совещаниях) по атомному ядру, начиная с I-ой ядерной конференции, состоявшейся в Ленинграде в 1933 г. Его активность в этом плане возрастала от конференции к конференции.

Заслуги Абрама Исааковича перед советской наукой получили признание ещё в его ленинградские годы. В марте 1941 года за научные работы по исследованию радиоактивности (опубликованные в 1936-1940 гг.) А.И.Алиханов и А.И.Алиханьян в числе первых физиков удостоены Государственной премии СССР. В 1939 г., когда учёному было 35 лет, он был избран членом-корреспондентом АН СССР (а спустя четыре года, в 1943 г. - её действительным членом).

\* \* \*

С начала Великой Отечественной войны А.И.Алиханов принимает участие в оборонных работах. Наряду с другими сотрудниками ленинградских и московских академических институтов (П.Л.Капицей, Н.Н.Семеновым, С.Л.Соболевым, С.А.Христиановичем), он с июля 1941 г. входит в состав Физической секции научно-технического совета Государственного комитета Оборон<sup>\*/98/</sup>.

Вместе с ЛФТИ Алиханов и его лаборатория в 1941 г. эвакуи-

\*) Архив ФТИ им.А.Ф.Иоффе АН СССР, ф.3, оп.3, ед.хр.56. Личное дело А.И.Алиханова, л.21.

\*\*\*) Заметим, что наряду с этой комиссией в то время существовала ещё одна: "Комиссия по проблеме урана при Президиуме АН СССР" (сокращенно ее называли Урановой комиссией). Её председателем был В.Г.Хлопин, заместителями председателя В.И.Вернадский и А.Ф.Иоффе, а среди ее членов были - И.В.Курчатов, П.Л.Капица, Д.Б.Харитон /97, с.336/.

руются в Казань. С начала 1942 г. он, как указано выше, приступает к подготовке экспедиции в Армению для исследования космических лучей. Осенью 1942 г. Абрам Исаакович возвращается из Еревана в Казань. К этому времени в нашей стране начинаются работы по атомной проблеме. И.В.Курчатова и А.И.Алиханова по рекомендации А.Ф.Иоффе вызывают в Москву. Они выезжают из Казани 22 октября (соответствующая запись имеется в книге командировок ЛФТИ за 1942 г.). Рассказывая о состоявшейся встрече, М.Г.Первухин говорит: "Мы условились, что Курчатова, Алиханов и Кикоин напишут в правительство записку, в которой предложат организовать немедленно возобновления у нас широких научно-исследовательских работ по ядерной физике, по разделению изотопов урана и осуществлению цепной реакции в различных системах с ураном. Через несколько дней, - продолжает М.Г.Первухин, - я получил эту записку" /99, с.62/. Алиханов стоял у самых истоков работ по проблеме урана. Известно, что он в числе еще нескольких сотрудников ФТИ (М.О.Корифельд, Л.М.Неменов, П.Я.Глазунов, С.Я.Никитин, Г.Я.Щепкин, Г.Н.Флеров, П.Е.Спивак, М.С.Козодаев, В.П.Джелепов\*) начал работать в лаборатории Курчатова - лаборатории № 2 Академии наук СССР, на которую было возложено решение этой важнейшей и ответственной проблемы. В 1943 г. он переезжает из Казани в Москву.

В Москве Алиханов продолжает, одновременно с работами в лаборатории № 2, курировать исследования по космическим лучам, выполняемые его сотрудниками в рамках экспедиций на Арагац. В 1945 г. для развития исследований по ядерным реакторам и ядерной физике Алиханов приступает к организации специальной лаборатории: лаборатории № 3 АН СССР (с 1949 г. она получает название Теплотехнической лаборатории АН СССР, а с 1957 г. - Института теоретической и экспериментальной физики - ИТЭФ).

В течение короткого времени, которое заняла организация новой лаборатории, Алиханов и двое его сотрудников (А.И.Алиханьян и С.Я.Никитин) формально числятся в Институте физических проблем - у П.Л.Капицы. Мы упоминаем об этом ещё и потому, что

---

\*) Мы приводим их имена в том порядке, в каком они значатся в приказе об организации лаборатории Курчатова /84, с.150/.

П.Л.Капица еще с 1942 г. поддерживал исследования Алиханова по космическим лучам, в частности, оказал ему большую помощь и содействие в разработке магнитного спектрографа, который функционировал на г.Арагац /см.ЮО, с.87/.

Абрам Исаакович Алиханов бессленно возглавлял ИТЭФ в течение почти четверти века. Под его руководством этот институт за короткий период занял одно из ведущих мест среди физических институтов страны. Однако описание этого плодотворного периода в жизни Алиханова выходит за рамки нашей работы.

\* \* \*

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить глубокую признательность Б.С.Джелелову, М.С.Козодаеву и С.Я.Никитину за внимание к работе и ценные сведения, использованные при её написании. Мы благодарны И.Ю.Кобзареву и Л.Б.Окуню за важные замечания, сделанные ими при просмотре первого подготовленного к публикации варианта текста. Мы старались их учесть и внесли в него соответствующие добавления и коррективы.

В марте 1984 г. Институтом теоретической и экспериментальной физики и Институтом истории естествознания и техники АН СССР был организован объединенный семинар, посвященный 80-летию со дня рождения А.И.Алиханова. Нам хотелось бы поблагодарить руководство обоих институтов и А.Т.Тригорьяна и Е.И.Погребыскую за предоставление возможности сделать на нём, в ряду других докладов, сообщение, значительная часть которого вошла в настоящую публикацию.

Л и т е р а т у р а

- I. Александров А.П., Джелепов В.П., Никитин С.Я., Харитон Д.В. - Памяти Абрама Исааковича Алиханова. - УФН, 1974, т. II2, вып. 3, с. 725-727.
2. Арцимович Л.А. Блестящий советский физик. - В сб.: Дружба, т. 2. Ереван: АрмГИЗ, 1960, с. 205-212.
3. Алиханов А.И. Рентгенографическое исследование алюминия при высоких температурах. - Тр. Гос. Физ.-тех. лаб., Л.: 1929, вып. II, с. 17. Alichanov A.I. Röntgenographische Untersuchung bei hohen Temperaturen. - Z. Metallkunde, 1929, Bd.21, N. 4, S.127-128.
4. Guertler W., Anastasiadis L. Zur Frage eines allotropen Umwandlungspunkte des Aluminiums. - Z. Phys. Chem., 1928, Bd. 132, S. 149-156.
5. Alichanov A.I., Arzimowicz L.A. Über Teilabsorption von Röntgenquanten. - Z. Phys., 1931, Bd.69, S. 853-856 (см. перевод в кн.: А.И.Алиханов. Избранные труды. М.: Наука, 1975, с. 35-39. В дальнейшем: Алиханов).
6. Алиханов А.И., Арцимович Л.А. Полное внутреннее отражение рентгеновых лучей от тонких слоев. - ЖЭТФ, 1933, т. 3, вып. 2, с. 115-124. (Алиханов, с. 13-34).
7. Алиханов А.И. Оптика рентгеновых лучей. Л., М.: ГТИ, 1933, 104 с.
8. Вклад академика А.Ф.Иоффе в становление ядерной физики в СССР. Л.: Наука, 1980, 38 с.
9. Blackett P.M.S., Occhialini G.P.S Some photographs of the tracks of penetrating radiation. - Proc. Roy. Soc., 1933, v. A139, N. A839, p. 699-726.  
(См. перевод: УФН, 1933, т. I3, вып. 4, с. 49I-5II).
10. Chadwick J., Blackett P.M.S., Occhialini G. New evidence for the positive electron. - Nature, 1933, v. 131, N. 3309, p.473 (см. перевод: УФН, 1933, т. I3, вып. 4, с. 5II-5I3).
- II. Anderson C.D. Free positive electrons resulting from the impact upon atomic nuclei of the photons from ThC''. - Science, 1933, v. 77, N. 2201, p. 432.

12. Curie I., Joliot F. Contribution à l'étude des électrons positifs. - C.R. Acad. sci., Paris, 1933, t. 196, N.15, p. 1105-1107. (См. пер. в кн.: Фредерик Жолио-Кюри. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1957, с. 225-226; в дальнейшем: Жолио-Кюри).
13. Curie I., Joliot F. Sur le origine des électrons positifs. Ibid., N.21, p. 1581-1583. (Жолио-Кюри, с. 227-228).
14. Meitner L., Philipp K. Die bei Neutronenanregung auftretenden Elektronenbahnen. - Naturwiss., 1933, Bd.21, H. 15, S. 287-288.
15. Meitner L., Philipp K. Die Anregung positiver Elektronen durch  $\gamma$ -Strahlen von  $\text{ThC}''$ . - Ibid., H. 24, S. 468.
16. Anderson C.D., Neddermeyer S.H. Positrons from  $\gamma$ -rays. - Phys. Rev., 1933, v. 43, N.12, p. 1034.
17. Skobel'tzyn D. Positive electron tracks. - Nature, 1934, v. 133, N.3349, p. 23-24.
18. Curie I., Joliot F. Sur la nature du rayonnement pénétrant excité dans les noyaux légers par les particules  $\alpha$ . - C.R. Acad. sci., Paris, 1932, t. 194, N.15, p. 1229-1232 (Жолио-Кюри, с. 181-183).
19. Curie I., Joliot F. La projection de noyaux atomiques par un rayonnement très pénétrant. L'existence du neutron. - Actualités scient. et industr. N 32. Exposés de physique théorique, II. 1932, 22 p.
20. Oppenheimer J.R., Plesset M.S. On the production of positive electron. - Phys. Rev., 1933, v. 44, N.1, p. 53-55.
21. Curie I., Joliot F. Electrons de matérialisation et de transmutation. - J. phys. et radium, 1933, t. 4, N.8, p. 494-500 (Жолио-Кюри, с. 248-255).
22. Nedelsky L., Oppenheimer J.R. The production of positives by nuclear gamma-rays. - Phys. Rev., 1933, v. 41, # 11, p. 948-949.
23. Алиханов А.И., Козодаев М.С. Испускание положительных электронов из радиоактивного источника. - ЖЭТФ, 1934, т. 4, вып. 6, с. 531-543 (Алиханов, с. 39-53).
24. [Alichanow A.] Positive electrons from lead ejected by

- $\gamma$ -rays. - Nature, 1934, v. 133, N. 3363, p. 581.
25. Alichanow A.I., Alichanian A.I., Kosodaev M.S. - J. phys. et radium, 1936, t. 7 (ser. 7), N. 4, p. 163-172 (Алиханов, с. 58-75).
26. Bethe H., Heitler W. On the stopping of fast particles and on the creation of positive electrons. - Proc. Roy. Soc., 1934, v. A146, N. 856, p. 83-112.
27. Алиханов А.И., Джелепов В.П. Спектр позитронов, испускаемых свинцом при освещении  $\gamma$ -лучами.  $\text{ThC}''$ . - ДАН, 1938, т. 20, № 2/3, с. II5-II6 (Алиханов, с. 82-83).
28. Jaeger J.C., Hulme H.R. On the production of electron pairs. - Proc. Roy. Soc., 1936, v. A153, N. 879, p. 443-447.
29. Thibaud J. Étude des propriétés physiques du positron. - C.R. Acad. sci., Paris, 1933, t. 197, N. 17, p. 915-917.
30. Chadwick J., Bleckett P.M.S., Occhialini G.P.S. Some experiments on the production of positive electrons. - Proc. Roy. Soc., 1934, v. A144, N. A 851, p. 235-249.
31. Алиханов А.И., Латышев Г.Д. Спектр позитронов  $\text{RaC}$ . - ДАН, 1938, т. 20, № 6, с. 429-430 (Алиханов, с. 99-100).
32. Алиханов А.И., Латышев Г.Д. Спектр позитронов  $\text{RaC}$ . - ЖЭТФ, 1940, т. 10, вып. 9/10, с. 985-995 (Алиханов, с. 101-117).
33. Alichanow A.I., Alichanian A.I., Kosodaev M.S. Emission of positrons from a thorium-active deposit. - Nature, 1935, v. 136, N. 3438, p. 475-476 (Алиханов, с. 54-55).
34. Jaeger J.C., Hulme H.R. The internal conversion of  $\gamma$ -rays with the production of electrons and positrons. - Proc. Roy. Soc., 1935, v. A143, N. 865, p. 708-728.
35. Bradt H., Halter J., Heine H.G., Scherrer P. Die Paaremmission des  $\text{ThC}''$ . - Helv. Phys. Acta, 1946, Bd. 19, N. 6/7, S. 431-462.
36. Alichanow A.I., Spiwak P.E. The positron spectrum of  $\text{RaC}$ . - Phys. Z. d. Sowjetun., 1937, Bd. 11, N. 3, S. 351-353 (Алиханов, с. 76-77).
37. Алиханьян А.И., Джелепов В.С., Спивак П.Е. Об углах между компонентами пар. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1938, № 1/2, с. 47-56.

38. Алиханов А.И. Образование пар под действием  $\gamma$ -лучей. - Там же , с. 33-45 (Алиханов, с. 84-98).
39. Алиханов А.И. Образование пар позитронов и электронов. - Вестник АН СССР, 1935, № 6, с. 58.
40. Алиханьян А.И. Образование пар  $\gamma$ -лучами и внутренняя конверсия  $\gamma$ -лучей. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1936, № 5, с. 665-671.
41. Алиханьян, А.И., Алиханов А.И., Арцимович Л.А. Закон сохранения импульса при аннигиляции позитронов. - ДАН, 1936, т. I ( X ), № 7 (84), с. 275-276 (Алиханов, с. 215-216).
42. Skobelzyn D. Über den Rückstosseffekt der zerstreuten  $\gamma$ -Strahlen. - Z. Phys., 1924, Bd.28, N.5, S.278-286.
43. Bothe W., Geiger H. Über das Wesen des Compton-effekts: ein experimenteller Beitrag zur Theorie der Strahlung. - Z. Phys., 1925, Bd.32, N. 9, S. 639-663.
44. Klemperer O. On the annihilation radiation of the positron. - Proc. Cambr. Phil. Soc., 1934, v. 30, p. III, p. 347-354.
45. Joliot F. Preuve expérimentale de l'annihilation des électrons positifs. - C R Acad. sci., Paris, 1933, t.197, N.25, p. 1622-1625. (Жолио-Кюри, с. 229-230).
46. Joliot F. Preuves expérimentales de l'annihilation des électrons positifs. - J phys. et radium, 1934, t. 5, N 7, p. 299-303 (Жолио-Кюри, с. 231-238).
47. Thibaud J. L'annihilation des positrons au contact de la matière et la radiation qui en résulte.- C.R. Acad. sci., Paris, 1933, t. 197, N.25, p. 1629-1632.
48. Thibaud J. Sur la dématerialisation des électrons positifs.- Ibid., 1934, t. 198, N.6, p. 562-564.
49. Curie I., Joliot F. Un nouveau type de radioactivité. - Ibid., N.3, p. 254-256. (Жолио-Кюри, с. 279-281).
50. Curie I., Joliot F. I. Production artificielle d'éléments radioactifs. II. Productio chimique de la transmutation des éléments. - J phys. et radium, 1934, t. 5, N.4, p. 153-156. (Жолио-Кюри, с. 295-300).
51. Alichanow A.I., Alichanian A.I., Dželepov B.S. A new

- type of artificial  $\beta$ -radioactivity. - Nature, 1934, v. 133, N.3371, p. 871-872 (Алиханов, с.120-121).
52. Ellis C.D., Henderson W.J. The artificial radioactivity produced in magnesium by  $\alpha$ -particles. - Proc. Roy. Soc., 1936, v. A156, N.888, p. 358-367.
53. Ellis C.D., Henderson W.J. Artificial radioactivity. - Proc. Roy. Soc., 1934, v. A146, N.856, p. 206-216.
54. Henderson W.J. The upper limits of the continuous  $\beta$ -ray spectra of thorium C and C'. - Ibid., v. A147, N.862, p. 572-582.
55. Fermi E. Radioattività indotta da bombardamento di neutroni. I. - Ric. Sci., 1934, t. 5(1), p. 283 (см. перевод в кн.: Энрико Ферми. Научные труды, т. I. М.: Наука, 1971, с. 601-602. В дальнейшем: Ферми).
56. Fermi E., Amaldi E., D'Agostino O., et al. Artificial radioactivity produced by neutron bombardment. - Proc. Roy. Soc., 1934, v. A146, N.857, p. 483-500 (Ферми, 620-636).
57. Алиханов А.И., Алиханьян А.И., Джелепов Б.С. Исследование искусственной радиоактивности. - ЖЭТФ, 1936, т. 6, вып. 7, с.615-632 (Алиханов, с.130 - 147).
58. Alichanian A.I., Alichanow A.I., Dželepov B.S. The dependence of the beta-spectra of radioactive element on the atomic number. - Phys. Z. Sowjetun., 1937, Bd.11, N. 2, S. 204-224 (Алиханов, с. 148-162).
59. Джелепов Б.С., Зырянов Л.Н. Влияние электрического поля атома на  $\beta$ -распад. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1956, 312 с.
60. Алиханов А.И., Алиханьян А.И., Джелепов Б.С. Форма  $\beta$ -спектра  $RaE$  вблизи верхней границы и масса нейтрино. - ДАН, 1938, т. 19, № 5, с. 375-376 (Алиханов, с. 163-164).
61. Wu Chien-Shung, Mozzkowski S.A. Beta Decay. N.Y.: Interscience Publ., 1966, XVI, 394 p. (Русск. пер.: Ву Ц.С., Мошковский С.А. Бета-распад. М.: Атомиздат, 1970, 397 с.).
62. Алиханьян А.И., Никитин С.Я. Форма  $\beta$ -спектра  $TlC$  вблизи границы и масса нейтрино. - ДАН, 1938. т. 19, № 5, с. 377-378.
63. Алиханьян А.И., Никитин С.Я.  $\beta$ -спектр  $RaC$  и энергетические уровни возбуждения ядра  $RaC'$ . - Там же, т. 21, № 1/2, с. 29-31.

64. Alichanian A.I., Nikitin S.J. Investigation of a double magnetic spectrometer. - J. Phys. USSR, 1940, v. 3, N.4/5, p. 243-250.
65. Fermi E. Versuch einer Theorie der  $\beta$ -Strahlen. - Z. Phys., 1934, Bd 88, N. 3/4, S. 161-177 (Ферми, с. 525-541).
66. Henderson W.J. The mass of the neutrino. - Proc. Cambr. Phil. Soc., 1935, v. 31, part 2, p. 285-290.
67. Konopinski E.J., Uhlenbeck G.E. On Fermi's theory of  $\beta$ -radioactivity. - Phys. Rev., 1935, v. 48, N.1, p. 7-12.
68. Любимов В.А., Новиков Е.Г., Нозик В.З. и др. Оценка массы покоя нейтрино из измерений  $\beta$ -спектра трития. - ЖЭТФ, 1981, т. 81, вып. 4(10), с. 1158-1181.
69. Feather N. An introduction to nuclear physics. - Cambridge: Univ. Press, 1936, 212 p.
70. Иоффе А.Ф. О причине низкой величины механической прочности. В кн.: А.Ф.Иоффе. Избр. тр., т. I. Л.: Наука, 1974, с. 296-302. О механизме хрупкого разрыва. Там же, с. 303-307.
71. Френкель В.Я., Гаспарян Б.Г., Бояджян А.Г. А.И.Алиханов и развитие исследований по ядерной физике в Ленинградском физико-техническом ин-те. - Изв. АН Арм. ССР, физика, 1984, т. 19, вып. 2, с. 104-111.
72. Алиханов А.И., Алиханьян А.И. О потерях энергии быстрыми электронами при прохождении через вещество. ДАН, 1939, т. 25, № 3, с. 192-194. (Алиханов, 219-222).
73. Алиханов А.И., Алиханьян А.И., Козодаев М.С. Рассеяние релятивистских электронов под большим углом. - Там же, т.24, №6, с. 525-527 (Алиханов, с.223-226).
74. Алиханьян А., Алиханов А., Вайсенберг А. Рассеяние релятивистских электронов под большим углом. - ЖЭТФ, 1946, т. 16, вып. 5, с. 369-378 (Алиханов, с. 227-239).
75. Leipunski A.I. Determination of the energy distribution of recoil atoms during  $\beta$ -decay and the existence of the neutrino. - Proc. Cambr. Phil. Soc., 1936, v. 2, part 2, p. 301-303.
76. Лейпунский А.И. [Выступление в прениях по докладу И.Е.И.Е.Тамма] Изв. АН СССР, сер. физ., 1936, № 1/2, с. 336-339.
77. Wick G.C. Sugli elementi radioattivi di F.Joliot e I.Curie. - Atti acad. Lincei. Rendiconti, Classe di scienze fisiche, 1934, t. 19, f. 5, p. 319-324.

78. Alvarez L.W. The capture of orbital electrons by nuclei. - Phys. Rev., 1938, v. 54, N.7, p. 486-497.
79. Rumbaugh L.H., Roberts R.B., Hafstad L.R. Nuclear transmutations of the lithium isotopes. - Ibid., N.9, p. 657-680.
80. Гохберг Б.М. Ленинградский физико-технический институт АН СССР. - УФН, 1940, т. 24, вып. I, с. II-20.
81. Соминский М.С. Ленинградский физико-технический институт АН СССР. - Природа, 1941, № I, с. 100-104.
82. Гринберг А.П. Гипотеза о нейтрино и новые подтверждающие ее экспериментальные данные. - УФН, 1944, т. 26, вып. 2, с. 189-216.
83. Allen J.S. Experimental evidence for the existence of a neutrino. - Phys. Rev., 1942, v. 61, N.11/12, p. 692-697.
84. Гринберг А.П., Френкель В.Я. Игорь Васильевич Курчатов в физико-техническом институте (1925-1943 гг.). Л.: Наука, 1984, 182 с.
85. Дзелепов В.П. Жизнь, отданная науке. - В кн.: Воспоминания об академике И.В.Курчатове. М.: Наука, 1983, с. 57-71.
86. Дорман И.В. Космические лучи. М.: Наука, 1981, 191 с.
87. Добротин Н.А. Космические лучи. М.: ГТИ, 1954, 320 с.
88. Труды Эльбрусской экспедиции Академии наук СССР 1934 и 1935 гг. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1936, 516 с.
89. Френкель В.Я., Гаспарян Б.Г. Академик А.И.Алиханов (материалы к научной биографии). - Вопр. ист. естеств. и техн., 1984, № 2, с. 75-84.
90. Алиханов А.И., Алиханьян А.И. Новые данные о природе космических лучей. - УФН, 1945, т. 27, вып. I, с. 22-30.
91. Алиханов А.И. Состав космических лучей на высоте 3280 м. - Изв. АН СССР, сер. физ., 1945, т. 9, № 3, с. 135-144.
92. Скобельцын Д.В. Основные результаты Памирской экспедиции по космическим лучам. - Там же, с. 250-258.
93. Скобельцын Д.В. О работах Памирской экспедиции ФИАН 1944 года по изучению космической радиации. - УФН, 1946, т. 28, вып. I, с. 51-68.
94. Авакян Р.О., Асатиани Т.Л., Бабаян У.П. и др. Академик Абрам Исакович Алиханов (к 80-летию со дня рождения). - Изв.

- АН Арм. ССР, физика, 1984, т. 19, вып. 3, с. 115-122.
95. Амадуни А.Ц., Асатиани Т.Л., Мамиджаниян Э.А., Сардарян Р.А. - Итоги первых высокогорных экспедиций по изучению космических лучей. - Там же, 1983, т. 18, вып. 5, с. 263-270.
96. Хроника. - Вестник АН СССР, 1938, № 11/12, с. 128-144.
97. Мочалов И.И. Владимир Иванович Вернадский (1863-1945). М.: Наука, 1982, 487 с.
98. К 40-летию великой Победы. - ФТП, 1985, т. 19, вып. 5, с. 785-787.
99. Первые годы атомного проекта (воспоминания М.Г.Первухина, записанные корреспондентом журнала "Химия и Жизнь"). - Химия и жизнь, 1985, № 5, с. 62-69.
100. Кедров Ф. Капица: Жизнь и открытия. М.: Московский рабочий, 1984, 189 с.

