

УДК 253.16:53.09

ИТОГИ ПЕРВЫХ ВЫСОКОГОРНЫХ ЭКСПЕДИЦИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

(К сорокалетию первой экспедиции на гору Арагац)

А. Ц. АМАТУНИ, Т. Л. АСАТИАНИ, Э. А. МАМИДЖАНЫН,
Р. А. САРДАРЯН

Рассматриваются основные научные результаты, полученные в первых экспедициях 40-х годов на гору Арагац по изучению космических лучей. Показано, что эти исследования находились на переднем крае науки и привели к обнаружению третьей компоненты космических лучей, состоящей в основном из протонов. Был получен ряд фундаментальных результатов, таких как наличие в космических лучах энергичных протонов, узких атмосферных ливней и т. д. Была создана новая прогрессивная методика магнитного масс-спектрометра Алиханова-Алиханяна, методика вариации площадей счетчиков и др. Показано, что несмотря на некоторые ошибочные результаты, полученные в результате переоценки экспериментальных данных, в целом научная деятельность по исследованию космических лучей на горе Арагац воспитала целое поколение квалифицированных ученых, способствовавших широкому развитию физики в Армении, а станция Арагац превратилась в один из ведущих центров в стране по изучению космических лучей.

Летом 1942 года состоялась первая экспедиция на гору Арагац для исследования космических лучей (КЛ), организованная А. И. Алихановым и А. И. Алиханяном. Кажется невероятным, что сорок лет назад в тяжелейшие годы Великой Отечественной войны это оказалось возможным. Но, как отмечал А. Эйнштейн, «ученые в поисках истины не считаются с войнами». Исключительная важность исследований фундаментальных свойств материи, а также энтузиазм А. И. Алиханова и А. И. Алиханяна, их высокий научный авторитет, завоеванный пионерскими работами в области ядерной физики, обусловили поддержку Академии наук и Правительства СССР. Экспедиция состоялась. Она стала фактически первым шагом большого пути, пройденного с тех пор физиками Армении.

Спустя сорок лет, когда высотная станция Арагац становится крупным научным центром страны, представляется целесообразным подвести некоторые итоги и рассмотреть, что дали науке эта и последующие экспедиции первых лет.

Следует, однако, отметить, что исторически первые эксперименты по физике КЛ на горе Арагац были выполнены в 1934 г. совместной экспедиционной группой Ленинградского физико-технического института (ЛФТИ) и Ереванского государственного университета (ЕГУ) в составе: Н. С. Иванова и В. М. Дужельский — сотрудники Д. В. Скобельцына

из Ленинграда, и Н. М. Кочарян из ЕГУ, незадолго до этого командированный в Ленинград на стажировку в ЛФТИ. Ими была исследована восточно-западная асимметрия космических лучей и было показано, что интенсивность излучения в западном направлении несколько преобладает. Это свидетельствовало о небольшом превышении числа частиц с положительным знаком заряда в общем потоке излучения. Годом позже Н. М. Кочарян выполнил аналогичные измерения на уровне Еревана и получил сходные результаты, которые были опубликованы в научных трудах Ереванского государственного университета [1]. Эту работу можно считать первой опубликованной работой по физике КЛ в Армении. Отметим также, что в 1936 г. С. Н. Вернов при участии Н. М. Кочаряна проводил исследования КЛ на шарах-зондах, которые запускались в Ереване. И все же именно с экспедиции 1942 г. начались систематические исследования по физике космических лучей в Армении.

В тридцатые годы повсеместно в мире наблюдался повышенный интерес к космическим лучам. Это было не случайно, так как именно в них были сделаны открытия исключительной важности, связанные с проблемой строения материи. В 1928 г. Д. В. Скобельцын открыл ливни КЛ [2], и это было подтверждено в лабораториях разных стран [3], Андерсон обнаружил позитрон [4] и мюон [5]. Во многих лабораториях приступили к исследованиям свойств и состава космических лучей, возникла проблема их происхождения. В те годы придерживались точки зрения, что КЛ имеют электромагнитное происхождение [6]. В то же время высказывались предположения, что в первичном потоке космического излучения (КИ) имеются протоны. Так, например, Джонсон [7] предполагал, что эффект восточно-западной асимметрии потока космических лучей на уровне моря обусловлен первичными протонами. В ряде работ [8, 9] на основе анализа следов сильно ионизирующих частиц в камере Вильсона рассматривалась возможность существования протонов в потоке КИ. Еще в 1933 г. Блеккетом в камере Вильсона наблюдались звезды (см., например, книгу Яносси [10]), которые невозможно было объяснить, исходя из электромагнитной природы КЛ. В конце тридцатых, начале сороковых годов появились также прямые свидетельства о наличии нерелятивистских протонов в КЛ. Так, в работах [11—13] в фотоэмульсиях были обнаружены протоны с энергией в несколько десятков МэВ. Появились более обстоятельные данные о наблюдении протонов в камере Вильсона [14].

Изучение проникающей способности КЛ дало России [15] основания феноменологически подразделить КЛ на две компоненты: жесткую, проникающую, компоненту и мягкую, поглощающуюся свинцовой пластинкой толщиной порядка 10 см, через которую без заметного поглощения проходит жесткая компонента. Впоследствии было установлено, что жесткая компонента состоит в основном из мезотронов (так называли в те годы мюоны). Но полной ясности о составе жесткой и мягкой компонент еще долгое время не было. Неоднократно высказывались предположения о том, что в той и другой компонентах могут быть протоны. Так, в работах [16, 17] предполагалось, что мюоны жесткой компоненты возникают в результате ядерных столкновений высокоэнергичных протонов, имеющих в потоке первичного КИ. Мюоны могли иметь только вторичное происхождение.

ние, так как время их жизни, довольно скоро измеренное Росси с сотрудниками [18], оказалось весьма малым, порядка 10^{-6} с. Много аргументов приводилось в пользу того, что в мягкой компоненте наряду с электронами, позитронами и фотонами должны быть также протоны малых энергий. Оценивая состояние физики КЛ в конце тридцатых годов, можно заключить, что имелось много противоречивых (а зачастую и ошибочных, как оказалось впоследствии) сведений о наличии протонов в КИ, и вопрос нуждался в тщательном анализе и изучении.

А. И. Алиханов и А. И. Алиханян в конце тридцатых годов обратили внимание на некоторые непонятные особенности в поведении мягкой компоненты космических лучей, которые следовали из анализа известных экспериментальных данных. Она обнаруживала большую ионизирующую способность, чем это можно было ожидать для известного в то время ее состава. Из анализа этого факта следовало, что в состав мягкой компоненты должны входить и протоны. Такое предположение было высказано А. И. Алихановым на одном из общесоюзных семинаров перед самой войной, и идея о наличии протонов в мягкой компоненте инициировала подготовку высотной экспедиции для исследования КЛ и поисков «третьей компоненты», состоящей в основном из протонов. Эта экспедиция готовилась в Ленинградском физико-техническом институте, где в то время работали А. И. Алиханов и А. И. Алиханян, и должна была состояться в горах Памира, но начавшаяся война поставила под угрозу ее осуществление.

В первые же дни войны началась эвакуация крупнейших научно-исследовательских институтов вглубь страны и перестройка их деятельности на нужды обороны. Однако, как уже отмечалось, было решено все же дать возможность снарядить экспедицию, но не на Памир, а в горы Армении, учитывая некоторый опыт, имеющийся благодаря упомянутой выше экспедиции 1934 года. Решающую роль сыграла поддержка академиков С. И. Вавилова и И. А. Орбели, которые, несмотря на тяжелейшие условия военного времени, считали необходимым продолжение работ по фундаментальной науке. Подготовленное в ЛФТИ оборудование для экспедиции было переброшено в Ереван, где при физико-математическом факультете Ереванского государственного университета была создана кафедра ядерной физики (заведующим кафедрой стал А. И. Алиханян), при которой на первых порах базировалась экспедиция. Летом 1942 г. состоялось первое восхождение на гору Арагац, на высоту 3200 м над уровнем моря, где на берегу озера Севлич (Кара-Гель) было установлено научное оборудование и начаты эксперименты.

В 1943 г. были созданы Академия наук Армянской ССР и одновременно Физико-математический институт АН Арм.ССР (с 1946 г. — Физический институт АН Арм.ССР, с 1962 г. — Ереванский физический институт ГКАЭ СССР, сокращенно ЕрФИ) во главе с А. И. Алиханяном. Среди первых сотрудников института были А. И. Алиханов, И. Я. Померанчук, Н. М. Кочарян, Т. Л. Асатиани, А. Ф. Кирпичев, А. Т. Дадаян, М. И. Калашникова, С. И. Зурабян и др., которые в основном являлись участниками экспедиций на гору Арагац. В первых экспедициях принимали участие также сотрудники ЛФТИ П. Е. Спивак, М. С. Козодаев,

С. Я. Никитин, А. Е. Вайсенберг, В. И. Калашников и Тбилисского государственного университета И. Ф. Кварцхава и Г. М. Мирнанашвили. Вскоре А. И. Алиханов был отозван в Москву для участия в атомной программе СССР, однако вплоть до пятидесятых годов он вместе с руководимой им группой ученых продолжал активно участвовать в работах по изучению КЛ на горе Арагац. Тесная научная связь между Физическим институтом в Ереване и основанной А. И. Алихановым в Москве лабораторией (впоследствии Институтом теоретической и экспериментальной физики ГКАЭ СССР) сохранилась до настоящего времени.

Результаты, полученные в первых же экспедициях на горе Арагац, подтвердили, что мягкая компонента не является однородной и можно говорить о существовании третьей компоненты КЛ. Первые упоминания о том, что в мягкой компоненте содержатся протоны, появились в работах А. И. Алиханова, А. И. Алиханяна с сотрудниками [19—21]. Хотя из результатов этих работ нельзя было сделать однозначного вывода о природе сильно ионизирующих частиц, тем не менее в [19] было высказано предположение, что расхождения в величине интенсивностей мягкой и жесткой компонент космических лучей, измеренных с помощью ионизационной камеры и счетчиков Гейгера-Мюллера, могут получить объяснение, если в составе мягкой компоненты допустить наличие протонов с энергией меньше 100 МэВ. Об этом А. И. Алиханов и А. И. Алиханян доложили в июле 1943 г. на сессии Отделения физико-математических наук АН СССР.

Наиболее четкие указания на то, что сильно ионизирующими частицами в КЛ вероятнее всего являются протоны с энергией порядка 150 МэВ, появились в работе [22], где по величине ионизационного пробега в свинце и величине ионизирующей способности частиц была оценена их масса, которая оказалась в интервале 0,8—1,4 массы протона.

Первые опыты по исследованию мягкой компоненты потребовали разработки метода, который позволил бы одновременно регистрировать частицу и измерить ее ионизирующую способность. В качестве такой методики была использована пропорциональная камера, с помощью которой можно отличить протоны с энергией порядка нескольких МэВ от релятивистских электронов. Такой пропорциональный счетчик в телескопической системе [22] применялся на горе Арагац (3200 м) и на уровне Еревана (950 м) в 1943—1944 гг. Была получена кривая ионизации жесткой и мягкой компонент космических лучей. Ионизационный спектр жесткой компоненты оказался в хорошем согласии с теоретической кривой Ландау [23] флуктуаций ионизационных потерь мюонов, из которых состоит жесткая компонента. Для ионизационного спектра мягкой компоненты обнаружилось серьезное расхождение с теорией. Довольно существенное отличие кривой ионизации мягкой компоненты от соответствующей кривой флуктуаций ионизационных потерь электронов совершенно определенно свидетельствовало о том, что в мягкой компоненте присутствует значительное число высокоионизирующих частиц. Грубая оценка массы этих частиц дала величину, близкую к массе протона. Более тщательный анализ экспериментальных данных показал, что сильно ионизирующие частицы — протоны — присутствуют как в мягкой, так и в жесткой компонен-

тах, и скорее всего обусловлены некоторой третьей компонентой космического излучения, природу которой еще следовало установить. В феврале 1944 г. с докладом о третьей компоненте космических лучей на сессии Отделения физико-математических наук АН СССР выступили А. И. Алиханов и А. И. Алиханян.

Для более определенных суждений о составе космических лучей было необходимо создать усовершенствованную методику измерений. Выбор пал на метод магнитного анализа частиц, использованный А. И. Алихановым и А. И. Алиханяном в работах [24, 25] для измерения спектра испускания позитронов. По существу была создана совершенно новая, весьма перспективная методика светосильных магнитных спектрометров, которая позволила впервые с высоким импульсным разрешением и с большой статистической обеспеченностью проводить энергетические измерения частиц потока КИ. Описание методики магнитного масс-спектрометра Алиханова-Алиханяна вошло во многие учебники и монографии (см., например, [26, 27]).

Методика магнитного масс-спектрометра стала создаваться в 1945 г. на горе Арагац. Первоначально была собрана установка, в которой частицы, выделенные телескопической системой счетчиков, пропускались через сильное магнитное поле постоянного магнита [28]. Магнитное поле отклоняло электроны и μ -мезоны тех энергий, которые могли бы содержаться в мягкой компоненте, и они не попадали в телескопическую систему. Анализ показал, что регистрироваться могли скорее всего протоны или группы протонов, тем самым подтвердив результаты, полученные в работе [20]. Это был фундаментальный результат, свидетельствующий о наличии в космических лучах энергичных протонов, которые, как выяснилось позже, определяют прохождение космических лучей через атмосферу и процессы образования частиц [29].

Таким образом, в течение 1942—1945 гг. на горе Арагац в результате серии экспериментов были получены вполне достоверные сведения о существовании в космических лучах интенсивного потока протонов с энергией порядка 150 МэВ. К такому же выводу почти одновременно пришел Лепринс-Ринке [30], обнаруживший на высоте 1000 м над уровнем моря поток протонов с энергией до 200 МэВ, а еще через два года — Андерсон с сотрудниками [31] в экспериментах на самолете В-29 на высоте 9000 м.

Следующим шагом было создание на горе Арагац установки, которая позволяла бы измерять отклонения частиц в сильном магнитном поле с одновременным измерением пробега частиц, т. е. проводить их массовый анализ. Был создан магнитный масс-спектрометр, на котором были получены первые весьма любопытные экспериментальные данные [32].

К 1947 г. существование третьей компоненты космического излучения не вызывало сомнений. Вполне определенно утверждалось, что она состоит из протонов и нейтронов и скорее всего ответственна за ядерные расщепления в космических лучах (см., например, [33, 34]). Вопрос о составе КИ был одним из актуальнейших вопросов физики космических лучей. К моменту выполнения работы [32] в КЛ были известны электроны, позитроны, фотоны, мюоны, протоны, нейтроны, ядерные фрагменты. Однако сведений о существовании частиц с массами в промежутке между массой

мюона и массой протона практически не было. Можно только отметить работу [35], в которой были получены указания на существование тяжелых мезонов с массой порядка $1000 m_e$, а также работу [36], в которой был обнаружен V-образный след заряженной частицы. Свойства, которые обнаруживал мюон, не позволяли отождествить ее с частицей-переносчиком сильного взаимодействия, теоретически предсказанной Х. Юкава [37], и вопрос о существовании такой частицы с массой порядка массы мюона или несколько более тяжелой оставался открытым. Поэтому результаты работы [38], в которой были получены указания на то, что в КЛ должны существовать частицы с массами в промежутке от 250 до 2000 масс электрона, явились мощным стимулом для дальнейших исследований.

А. И. Алихановым и А. И. Алиханяном с сотрудниками было приложено немало усилий, направленных на усовершенствование методики измерений для получения более достоверных данных. Однако этих усилий оказалось недостаточно. Незнание в те времена характера неионизационных остановок частиц явилось основной причиной получения ошибочных масс частиц. Сказалось подспудное желание подтвердить высказанную впервые А. И. Алиханяном и А. И. Алихановым довольно красивую и смелую идею о большом разнообразии взаимно превращающихся друг в друга частиц — «варитронов». Однако некорректный и поспешный анализ экспериментальных данных, полученных масс-спектрометрической методикой, привел к переоценке результатов и вследствие этого в дальнейшем к их обесцениванию. Более критический анализ полученных данных и более тщательная их обработка позволили бы авторам впервые выделить π -мезоны и K -мезоны, которые, как было показано впоследствии, безусловно регистрируются такой методикой. Действительно, время жизни как π -мезонов, так и K -мезонов оказалось порядка 10^{-8} с, а геометрические размеры установки, собранной на горе Арагац ($\sim 1,5$ м), позволяли фиксировать частицы, время жизни которых не меньше, чем $1,5 \text{ м/с} = 5 \cdot 10^9 \text{ с}$ (c — скорость света).

Работы Пауэлла с сотрудниками [38, 39] (удостоенные впоследствии Нобелевской премии), в которых было сделано сообщение об обнаружении π -мезонов, приведена их масса и указано на ядерный характер их взаимодействия с нуклонами, появились несколько позже. Что касается K -мезонов, то первые указания на существование тяжелых мезонов с массой порядка $1000 m_e$, как отмечалось выше, появились в 1944 г. в работе [35], а в работе [36] был обнаружен V-образный след заряженной частицы. Систематические исследования так называемых V-частиц (K -мезонов) были начаты работой Рочестера и Батлера [40] и продолжались еще несколько лет, прежде чем окончательно были установлены их природа и свойства.

Поэтому данные, полученные на горе Арагац, представляли несомненный интерес и настоятельно требовали усовершенствования методики магнитного масс-спектрометра. Последовательно улучшались его характеристики, он сочетался с другими методами измерений частиц, такими как, например, камера Вильсона и другими приборами. Тем не менее регистрировались (особенно в ранних работах) и ложные массы частиц. С 1950 г. экспериментальные данные о «варитронах» стали подвергаться критике. Так, в работе [41] утверждалось, что в экспериментах по «варитронам»

недостаточно четко отделялись электроны от других частиц космического излучения. Обстоятельная критика была дана в работе С. Н. Вернова, Н. А. Добротина и Г. Т. Зацепина [42], в которой указывалось на отсутствие критического анализа экспериментальных условий, наличие ряда паразитных эффектов и, в частности, потери энергии частицы на ядерные взаимодействия, которые не учитывались при определении энергетических потерь. Кроме того, отмечалось, что работы [43—45], выполненные другими исследовательскими группами, оказались в противоречии с данными А. И. Алиханова, А. И. Алиханяна с сотрудниками [46—48]. Вокруг этого вопроса возникла дискуссия [42, 49—51]. Конечно, эксперименты, выполненные в 1946—1949 гг. с помощью масс-спектрометра, оказались не безупречными с точки зрения анализа фоновых, паразитных и имитирующих эффектов, но, как отмечалось выше, были затрачены большие усилия на совершенствование методики, дополнительно и более критически анализировались результаты измерений (см., например, [52, 53]).

В 1950—1951 гг. появились работы Н. М. Кочаряна с сотрудниками [54, 55], в которых с помощью усовершенствованной методики магнитного масс-спектрометра были проведены исследования спектра масс космических лучей, а также зарегистрированы частицы промежуточных масс, но в значительно меньшем количестве, и потому авторы не сочли свои данные статистически обеспеченными, чтобы сделать определенные выводы.

Следует иметь в виду, что примерно до начала пятидесятих годов в научной печати появилось много публикаций (см., например, [56—61]), в которых сообщалось об открытии новых частиц в КЛ. Наряду с достоверными сведениями было немало и ошибочных, что свидетельствовало о больших трудностях, связанных с регистрацией и идентификацией частиц. Лишь по мере накопления экспериментальных данных, улучшения методики измерений, а также запуска ускорителей, позволивших проводить измерения в лабораторных условиях с точностями, на порядок превышающими точности в КЛ, путаница, царившая в систематике частиц, стала постепенно ликвидироваться. Кроме позитрона и мюона, открытых еще в тридцатые годы, в конце сороковых, начале пятидесятих годов окончательно было установлено существование Λ -мезонов ($273 m_e$), каонов ($966 m_e$) и гиперонов ($2200—2600 m_e$).

Дальнейшие исследования КЛ на горе Арагац были связаны с методикой магнитного масс-спектрометра. В совершенствовании этой методики принимали участие Н. Т. Айвазян, Г. В. Бадалян, А. Т. Дадаян, М. И. Дайон, В. М. Камалян, В. Г. Кириллов-Угрюмов, Н. М. Кочарян, Г. А. Марикян, Г. С. Мухелишвили, В. М. Харитонов, А. В. Хримян, Н. В. Шостакович и др. Были разработаны и созданы многослойные нитяные пропорциональные счетчики, сцинтилляционные счетчики для измерения масс заряженных частиц, тонкостенные счетчики и др. Следует особенно отметить методические разработки нитяных пропорциональных камер, выполненные группой А. И. Алиханова для проведения ионизационных измерений на большом постоянном арагацском магните и доложенные в 1956 г. на симпозиуме в ЦЕРН-е [62]. Как отмечалось проф. Шарпаком на Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий в Дубне (1970 г.) [63], эти камеры стали прототипом наиболее распростра-

ненного в последние годы мощного инструмента в исследованиях на ускорителях и КЛ — современных проволочных пропорциональных камер.

С помощью методики магнитного масс-спектрометра были получены результаты, не потерявшие своего значения до сегодняшнего дня. Было доказано существование в КЛ дейтронов [64], изучены их характеристики, измерен спектр мюонов с импульсами до 100 ГэВ/с [65, 66], импульсный спектр протонов до 2 ГэВ/с [66] и др.

Наряду с работами по определению состава КЛ во время первых экспедиций на гору Арагац проводились также исследования широких атмосферных ливней (ШАЛ) или ливней Оже, обнаруженных перед самой войной французским физиком Оже [68]. В течение 1944—1945 гг. А. И. Алиханян и Т. Л. Асатиани, исследуя ШАЛ, обнаружили «узкие атмосферные ливни», по своей природе существенно отличающиеся от ШАЛ [69]. Если ШАЛ в понимании сороковых годов имели электромагнитную природу, то «узкие ливни» никак не могли быть объяснены электромагнитным механизмом их образования. Природа узких ливней тогда не была установлена, но была обнаружена их значительная проникающая способность [70]. Дальнейшие исследования [71] позволили установить, что в узких ливнях содержатся протоны или мезоны и лишь некоторая примесь фотонов и электронов, тем самым еще раз подтвердив их неэлектромагнитный характер. Впоследствии выяснилось [72], что узкие ливни в большинстве случаев возникают в результате взаимодействия ядерно-активных частиц космического излучения с ядрами воздуха вблизи установки.

В те же годы на горе Арагац для изучения ШАЛ был предложен метод вариации площадей счетчиков [69, 73]. С помощью этого метода были исследованы характеристики ШАЛ и показано, что в космических лучах имеются первичные частицы с энергией, достигающей 10^{17} эВ. Этот метод получил в дальнейшем широкое применение и с успехом использовался для определения энергии частиц сверхвысоких энергий. Метод теоретически был обоснован в работе Мигдала [74], в которой и была сделана приведенная выше оценка энергии частиц.

Исследования на горе Арагац с первых дней находились в центре внимания научной общественности страны. Особенно большой интерес вызвала рожденная на Арагаце идея о большом числе взаимно превращающихся друг в друга элементарных частиц, которая, в конечном итоге, оказалась верной, как показало дальнейшее развитие физики элементарных частиц. Работы по исследованию космических лучей на горе Арагац были отмечены присуждением в 1948 г. А. И. Алиханову и А. И. Алиханяну Государственной премии СССР.

Исследования на горе Арагац стали занимать все более существенное место в общесоюзной программе изучения физики КЛ. Оценивая развитие физики космических лучей в Советском Союзе, в работе [75] отмечалось, что у нас в стране «...существовали два довольно отчетливых направления исследований, которые много лет были как бы двумя иногда пересекавшимися путями ее развития. Первое направление — установление природы частиц космического излучения. Второе — изучение взаимодействия этих частиц с веществом». В работе [75] первое направление связывалось со школой А. И. Алиханова и А. И. Алиханяна, основы которой были за-

ложены первыми их экспедициями на гору Арагац в 1942—1943 гг. Второе направление связывалось со школой Д. В. Скобелыцина и С. Н. Вернова, их исследованиями, начатыми еще в двадцатые годы. Однако круг интересов обеих школ зачастую совпадал.

Первое направление в основном развивалось на горе Арагац, где была создана первоклассная высотная станция по изучению космических лучей, оснащенная современной техникой и оборудованием, первая в СССР, функционирующая круглый год. На этой станции вырос большой коллектив высококвалифицированных ученых, часть которых впоследствии смогла переключиться на эксперименты на ускорителе электронов, построенном в ЕрФИ. Это было одним из решающих обстоятельств, обусловивших создание ускорителя в Армении. Хотя строительство ускорителя и последующая его эксплуатация отвлекли многих физиков от изучения КЛ, научная деятельность на высокогорной станции Арагац продолжала активно развиваться. В 1960 г. вступила в строй еще одна высокогорная станция — Нор-Амберд (высота 2000 м над уровнем моря), также действующая круглогодично. Продолжала расширяться станция Арагац. В сборнике [28], посвященном 30-летию ЕрФИ, дан подробный обзор работ, выполненных на высокогорных станциях Нор-Амберд и Арагац до начала 70-х годов.

Строительство ускорителей больших энергий во всем мире поставило перед учеными, занимающимися физикой космических лучей, новые задачи. Научные коллективы станций Нор-Амберд и Арагац направили свои усилия на создание такой методики и техники эксперимента, которая позволила бы изучать физику частиц в области энергий, недоступных современным ускорителям. Высоко оценивая достижения армянских физиков по изучению космических лучей, С. Н. Вернов отмечал [76], что физика космических лучей в Армении приобретает второе дыхание.

За сорок лет, прошедших со времен первых экспедиций, высокогорная станция Арагац превратилась в один из ведущих в стране центров по изучению космических лучей. ЕрФИ совместно с ФИАН СССР разработана долгосрочная программа исследований, которая должна сохранить свою актуальность до конца столетия [77]. С 1979 г. на станции Арагац работает уникальная установка «Пион» [78] для исследования характеристик нуклон- и пион-ядерных взаимодействий в области энергий до 10 ТэВ, состоящая из ионизационного калориметра площадью 10 м², годоскопа из многопроволочных искровых камер и детекторов переходного излучения. Впервые на такой большой площади удалось применить детекторы переходного излучения для идентификации адронов космического излучения. При этом установка полностью автоматизирована для просмотра и предварительного анализа информации. Получен ряд интересных результатов: отношение числа π -мезонов к числу протонов, коэффициенты неупругости K_{π} , сечения неупругого взаимодействия π , p , n с ядрами железа в области энергий 500—2000 ГэВ (см., например, [79]).

Следует отметить, что именно на арагацкой станции впервые был осуществлен эксперимент с использованием явления рентгеновского переходного излучения [80], теоретически открытого в ЕрФИ Г. М. Гарибяном (одновременно с К. А. Барсуковым), под руководством которого теорети-

ческие исследования этого явления продолжают и в настоящее время. Детекторы рентгеновского переходного излучения (РПИ), одним из активных инициаторов экспериментальной разработки и использования которых был А. И. Алиханян, получили широкое признание у нас в стране и за рубежом и занимают достойное место на современных установках на горе Арагац. Детекторы РПИ использованы в установке по изучению спектра ядер с энергией до 1 ТэВ первичного КИ в совместном эксперименте ЕрФИ—ЛФТИ на аэростатах [81].

Современная комплексная установка, сочетающая светосильный магнитный спектрометр с искровым калориметром, создана для изучения характеристик высокоэнергичных мюонов в горизонтальном потоке космических лучей [82]. На ней исследован дифференциальный энергетический спектр и зарядовое отношение мюонов, получены данные по интенсивности горизонтальных атмосферных ливней, сечения рождения адронов мюонами и другие результаты.

Разработка новых, постоянное наращивание и модернизация уже имеющихся установок, активное подключение к исследованиям на горе Арагац ФИАН СССР и других институтов страны позволят создать на базе станции Арагац Всесоюзный космический центр по изучению взаимодействий элементарных частиц сверхвысоких энергий, не достижимых на ускорителях. Это будет крупнейший в мире экспериментальный комплекс для всестороннего изучения адронных и лептонных каскадов в области энергий 10^5 — 10^8 ГэВ (проект эксперимента АНИ [77]). Тот факт, что физики Советского Союза остановили свой выбор для создания Всесоюзного центра на станции Арагац, свидетельствует о высокой оценке деятельности армянских физиков в области исследования космических лучей.

В заключение авторы выражают благодарность Г. М. Гарибяну, А. Н. и К. Н. Кочарянам, С. Г. Матиняну и Г. С. Саакяну за полезные обсуждения в процессе работы над статьей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочарян Н. М. Ереванский государственный университет. Научные труды, 12, 23 (1940); см. также в кн. Кочарян Н. М. Космические лучи, физика полимеров. Избранные труды. Изд. АН АрмССР, Ереван, 1973.
2. Skobel'tzyn D. V. Z. fur Phys., 54, 686 (1929).
3. Rossi B. Physikalische Zeitschr., 33, 304 (1932).
Blackett P. M. S., Occhialini G. P. S. Proc. Roy. Soc., A139, 699 (1933).
4. Anderson C. D. Science, 76, 238 (1932); Phys. Rev., 43, 492 (1933).
5. Anderson C. D., Neddermeyer S. H. Phys. Rev., 51, 884 (1937); 54, 83 (1938).
6. Euler H., Helsenberg W. Erg.-Exact. Naturwiss., 17, 1 (1938); перевод см. УФН, 21, 130 (1939).
7. Johnson T. H. Rev. Mod. Phys., 10, 193 (1938); 11, 208 (1939).
8. Blackett P. M. S. Proc. Roy. Soc., A159, 1 (1937).
9. Brode R. B., MacPherson H. G., Star M. A. Phys. Rev., 50, 581 (1936).
10. Яносси Л. Космические лучи. Изд. ИЛ, М., 1949.
11. Blau M., Wambacher H. Nature, 140, 585 (1937).
12. Widhalm A. Z. fur Phys., 115, 481 (1940).
13. Heitler W., Powell C., Heitler H. Nature, 146, 65 (1940).
14. Johnson T., Barry T. G., Shutt R. P. Phys. Rev., 57, 1047 (1940).
15. Rossi B. Z. fur Phys., 82, 151 (1933).

16. Nordheim L. W. Phys. Rev., 56, 502 (1939).
17. Schein M., Jesse W. P., Wollan E. O. Phys. Rev., 59, 930 (1941).
18. Rossi B., Hilberry N., Hoag J. B. Phys. Rev., 56, 837 (1939).
19. Alichanow A., Alichanian A., Nemenov L., Kocharian N. J. of Phys. (USSR), 8, 63 (1944); см. также в кн. Кочаряна [1].
20. Alichanow A., Alichanian A., Mirianashvilli G. J. of Phys. (USSR), 8, 62 (1944).
21. Alichanian A., Alichanow A., Kocharian N., Kvarzhava S., Mirianashvilli G. J. of Phys. (USSR), 8, 127 (1944).
22. Alichanow A., Alichanian A., Nikitin S. J. of Phys. (USSR), 9, 967 (1945).
23. Landau L. D. J. of Phys. (USSR), 8, 201 (1944).
24. Alichanow A. I., Kosodaev M. S. Z. fur Phys., 90, 249 (1934).
25. Alichanow A. I., Alichanian A. I., Kosodaev M. S. J. Phys., 7, 163 (1936).
26. Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика, т. II, Атомиздат, М., 1974.
27. Мурзин В. С. Введение в физику космических лучей. Атомиздат, М., 1979.
28. Alichanian A., Alichanow A., Nikitin S., Weissenberg A. J. of Phys. (USSR), 10, 294 (1946).
29. Авакян В. В., Асатиани Т. Л., Бабаян Х. П., Мамиджаниян Э. А., Марикиян Г. А. В сб. Ереванскому физическому институту — 30 лет. Изд. ЕрФИ, Ереван, 1974.
30. Leprince—Rinquet L. Comp. Rend., 221, 406 (1945).
31. Adams R., Anderson C., Lloyd P., Rau R., Saxena R. Rev. Mod. Phys., 20, 334 (1948).
32. Alichanian A., Alichanow A., Weissenberg A. J. of Phys. (USSR), 11, 97 (1947).
33. Гинзбург В. Л. В кн. Мезон (под ред. И. Е. Тамма). ОГИЗ, М.—Л., 1947.
34. Rossi B. Rev. Mod. Phys., 20, 537 (1948).
35. Leprince—Rinquet L., Heritter M. L. Comp. Rend., 219, 618 (1944).
36. Dandin J. Ann. de Phys., 19, 110 (1944).
37. Yukawa H. Proc. Phys. Math. Soc. Jap., 17, 48 (1935).
38. Lattes C. M. G., Muirhead H., Occhialini G. P. S., Powell C. F. Nature, 159, 694 (1947).
39. Lattes C. M. G., Occhialini G. P. S., Powell C. F. Nature, 160, 453 (1947).
40. Rochester G. D., Butler C. C. Nature, 160, 855 (1947).
41. Daudin J. J. de Phys., 11, 250 (1950).
42. Вернов С. Н., Добротин Н. А., Зацепин Г. Т. ЖЭТФ, 21, 1045 (1951).
43. Dobrotin N. J. of Phys. (USSR), 10, 207 (1946).
44. Добротин Н. А., Граевская Я. И., Григоров Н. Л., Никольский С. И., Раппопорт И. Д. ДАН СССР, 77, 599 (1951).
45. Азимов С. А. Кандидатская диссертация. Труды ФИАН, 4, 317 (1949).
46. Алиханов А., Алиханян А., Вайсенберг А. ЖЭТФ, 18, 301 (1948).
47. Алиханов А., Алиханян А., Морозов В., Мухелишвили Г., Хримян А. ЖЭТФ, 17, 673 (1948).
48. Алиханян А., Морозов В., Хримян А., Мухелишвили Г., Камалян В. ЖЭТФ, 19, 1021 (1949).
49. Алиханян А. И., Алиханов А. И. ЖЭТФ, 21, 1023 (1951).
50. Алиханян А. И. ЖЭТФ, 21, 1062 (1951).
51. Вернов С. Н., Добротин Н. А., Зацепин Г. Т. ЖЭТФ, 22, 1499 (1952).
52. Алиханян А., Кириллов-Угрюмов В., Шостакович Н., Федоров В. ДАН СССР, 92, 255 (1953).
53. Алиханян А., Кириллов-Угрюмов В., Шостакович Н., Федоров В., Мерзон Г. ДАН СССР, 92, 511 (1953).
54. Айвазян М. Т., Киракосян Э. А., Кочарян Н. М., Кайтмазов Д. Д. ДАН АрмССР, 15, 33 (1952).
55. Айвазян М. Т., Киракосян Э. А., Кочарян Н. М., Кайтмазов Д. Д., Саакян Г. С. ЖЭТФ, 23, 532 (1952).
56. Brode R. B. Rev. Mod. Phys., 21, 37 (1949).
57. Retellack J. G., Brode R. B. Phys. Rev., 75, 1716 (1949).
58. Wagner N., Copper D. Phys. Rev., 76, 449 (1949).

59. Leprince—Ringuet L. Rev. Mod. Phys., 21, 42 (1949).
60. Seriff A. J., Leighton R. B., Hstao C., Cowon W. E., Anderson C. D. Phys. Rev., 78, 290 (1950).
61. Bridge H. S., Annis M. A. Phys. Rev., 82, 445 (1951).
62. Aitchanov A. I. et al. CERN Symposium, 1956, p. 87.
63. Шарпак Г. Труды Международной конференции по аппаратуре в физике высоких энергий. Дубна, 8—12 сент. 1970 г. Дубна, 1971.
64. Алиханян А. И., Марилян Г. А. ДАН СССР, 87, 191 (1952).
65. Кочарян Н. М., Айвазян М. Т., Куракосян Э. А., Алексанян А. С. ДАН АрмССР, 20, 169 (1955).
66. Кочарян Н. М., Саакян Г. С., Айвазян М. Т. ДАН АрмССР, 24, 49 (1957).
67. Кочарян Н. М. ЖЭТФ, 28, 160 (1955).
68. Auger P., Ehrenfest P., Maze Jr. R., Daudin J., Freon A. Rev. Mod. Phys., 11, 288 (1939).
69. Алиханян А. И., Асатиани Т. А. ЖЭТФ, 15, 225 (1945); J. of Phys. (USSR), 9, 55 (1945).
70. Aitchanlian A., Alexandrian A. J. of Phys. (USSR), 20, 296 (1946).
71. Алиханян А., Шостакович Н. ЖЭТФ, 17, 466 (1947); ДАН СССР, 61, 239 (1948).
72. Бабалян Х. П. и др. ЖЭТФ, 46, 1 (1964).
73. Aitchanlian A., Asatiant T., Alexandrian A. J. of Phys. (USSR), 9, 148 (1945).
74. Migdal A. J. of Phys. (USSR), 9, 183 (1945).
75. Григоров Н. Л., Мищенко Л. Г. В кн. Развитие физики в России, т. II. Изд. Просвещение, М., 1970.
76. Вернов С. Н. Изв. АН СССР, сер. физ., 43, 2466 (1979).
77. Данилова Т. В. и др. (сотрудничество ЕРФИ—ФИАН). Изв. АН АрмССР, Физика, 17, вып. 3—4, 129 (1982).
78. Avakian V. V. et al. Proc. of the XVI International Conf. on CR, Kyoto, 13, 61 (1980).
79. Avakian V. V. et al. Proc. of the XVII International Conf. on CR, Paris, 5, 90, (1981).
80. Арутюнян Ф. Р., Испирян К. А., Оганесян А. Г. Изв. АН СССР, сер. физ., 28, 1864 (1964).
81. Авунджян А. Г. и др. Препринт ЛФТИ-764, Ленинград, 1982.
82. Асатиани Т. А. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 45, 1265 (1981).

ԲԱՐՁՐ ԼԵՌՆԱՅԻՆ ԱՌԱՋԻՆ ԱՐՇԱՎԱՆՄԱՐԵՐԻ ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԸ ՏԻՆՋԵՐԱԿԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅՑՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅԱՄԲ

(Դեպի Արագած լեռն առաջին արշավախմբի 40-ամյակի առթիվ)

Ա. Յ. ԱՄՍՏՈՒՆԻ, Թ. Լ. ԱՍՍԹԻԱՆԻ, Է. Ա. ՄԱՄԻՋԱՆՅԱՆ, Ռ. Ա. ՍԱՐԴԱՐՅԱՆ

Վերանայված են 40-ական թվականներին դեպի Արագած լեռն առաջին արշավախմբերի ստացած հիմնական գիտական արդյունքները տիեզերական ճառագայթների ուսումնասիրության ուղղությամբ: Ցույց է տրված, որ այդ հետազոտությունները գտնվում էին գիտության առաջնագծում և հանգեցրին տիեզերական ճառագայթներում երրորդ հիմնականում պրոտոններից կազմված բաղադրամասի հայտնաբերմանը: Ստացվել են մի շարք հիմնարար արդյունքներ, ինչպիսիք են տիեզերական ճառագայթներում բարձր էներգիայով օժտված պրոտոնների գոյությունը, նեղ մթնոլորտային հեղեղները և այլն: Ստեղծվեց նոր առաջադիմական Ալիխանով-Ալիխանյանի մագնիսական մասս-սպեկտրոմետրի մեթոդիկան, հաշվիչների մակերեսների վարիացիաների մեթոդիկան և այլն: Ցույց է տրված, որ շնայած ինքնաբերական տվյալների գերազանցառման հետևանքով ստացված մի քանի թիվային արդյունքներին, Արագած լեռան վրա տիեզերական ճառագայթների հետազոտության ուղղությամբ գիտական գործունեությունը դաս-

տիրակեց Հայաստանում ֆիզիկայի զարգացմանը նպաստող որակյալ գիտնականների մի ամ-
բողջ սերունդ, իսկ Արագած կայանը դարձավ երկրում տիեզերական ճառագայթների գծով
ամառաշատար կենտրոններից մեկը:

RESULTS OF FIRST HIGH-ALTITUDE EXPEDITIONS FOR COSMIC RAY INVESTIGATION

(To the fortieth anniversary of the first expedition to the mountain Aragats)

A. Ts. AMATUNI, T. L. ASATIANI, E. A. MAMIDZHANYAN, R. A. SARDARYAN

Main results obtained in the forties during the first expeditions for the inves-
tigation of cosmic rays on the mountain Aragats are considered. A number of fun-
damental results have been obtained, such as the discovery of the third component
of cosmic rays, the presence of energetic protons, of narrow air showers [in cosmic
rays etc. Some new techniques for the detection of cosmic rays have been developed
including the Alikhanov-Alikhanian magnetic mass spectrometry, counter area vari-
ation technique etc. It is shown that the scientific activity on the cosmic ray investi-
gations has greatly contributed to the development of physics in Armenia and the
cosmic ray station Aragats turned into one of leading centers of cosmic ray investi-
gation in the Soviet Union.