

53(092)

О НАУЧНЫХ ТРУДАХ А.Д. САХАРОВА

Б.Л. Альтшулер

(Физический институт им. П.Н. Лебедева АН СССР)

Накануне 60-летия А.Д. Сахарова все было иначе, чем сейчас, не ставился вопрос и о выпуске юбилейного номера "УФН". Андрей Дмитриевич умер, и это горько сознавать, но признаюсь — сейчас нет того ощущения аномалии происходящего, какое было десять лет назад, когда он был "похоронен" заживо. Хотя замечу, что в тот начальный период ссылки изоляция еще не была столь абсолютной, как в последующие годы.

В качестве подарка к 60-летию друга Сахарова в Москве подготовили юбилейный сборник [1], где есть и глава "Сахаров — ученый". Раздел о работах Сахарова по фундаментальным проблемам физики написан Ю.А. Гольфандом, на мою же долю выпала управляемая термоядерная реакция (УТР) и взрывомагнитные генераторы. Хорошо помню радость, которую я испытал, когда, работая над статьей для этого сборника, обнаружил в книге И.Н. Головина о Курчатове [2] следующий отрывок, с которого и начну эту вводную статью к публикуемым здесь научным работам А.Д. Сахарова. Итак, разговор И.В. Курчатова со своим заместителем (фамилия которого в [2] не названа) в новогодний вечер 31 декабря 1950 г.:

"Заместитель: Игорь Васильевич! УТР — ведь это величайшая проблема по освобождению внутриядерной энергии! Первую проблему вы успешно решили. Никто уже не сомневается, что атомная электростанция будет работать за счет деления урана. Сахаров поднял нас на решение второй, не менее величественной атомной проблемы двадцатого века — получения неисчерпаемой энергии путем сжигания океанской воды! Эта задача, решению которой не жаль отдать всю жизнь"... Курчатов... с увлечением рассказал, как Сахаров предложил создавать плазму индукционным способом, надев на тороидальную камеру железный сердечник с первичной обмоткой... Уже через несколько месяцев во главе с Арцимовичем работала созданная Курчатовым лаборатория, насчитывающая до ста сотрудников. Возглавлял теоретические исследования М.А. Леонтович" [2, с. 81 — 82]; в переизданиях книги после 1972 г. упоминание Сахарова отсутствует. Это, конечно, был явный недосмотр, что в марте 1981 г. мне свободно выдали в Ленинской библиотеке книгу с таким прославляющим Сахарова текстом.

Кратко остановлюсь на некоторых аспектах научной деятельности Андрея Дмитриевича.

1. Управляемая термоядерная реакция. В качестве комментария по проблеме УТР приведу несколько отрывков из своей статьи в [1]:

"В 1950 г. А.Д. Сахаров вместе с И.Е. Таммом выдвинул идею, которая, вероятно, является его главным научным и изобретательским достижением. Это — предложение осуществления управляемой термоядерной реакции для энергетических целей с использованием принципа магнитной термоизоляции плазмы (см.: Большая Советская Энциклопедия, статьи о Сахарове и Тамме). Управляемая термоядерная реакция, так же как реакция, происходящая в водородной бомбе, представляет собой слияние ядер изотопов водорода — дейтерия и трития — с образованием (синтезом) ядер гелия и выделением энергии, но не при взрыве, а в условиях промышленного устройства — термоядерного реактора. В отличие от цепной реакции деления ядер урана и плутония в атомной бомбе и в реакторах атомных электростанций, термоядерная реакция возможна лишь при температуре в десятки или даже сотни миллионов градусов.

Сахаров и Тамм показали, что при движении заряженных частиц — ядер и электронов — в магнитном поле специальной конфигурации отвод тепла уменьшается настолько, что становится в принципе возможным нагрев плазмы до необходимой температуры и поддержание ее в течение времени, достаточного для термоядерной реакции. Об этих работах доложил И.В. Курчатов 25 апреля 1956 г. в своей знаменитой лекции в английском атомном центре в Харуэлле [3] во время визита в Англию с Хрущевым и Булганиным; они были опубликованы в трудах Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, а также в сборнике [4] под общим заглавием "Теория магнитного термоядерного реактора" (МТР). Части 1, 3 — статьи И.Е. Тамма, часть 2 — статья А.Д. Сахарова... ((А.Д. Сахаров [10, 13, 28]); см. список трудов А.Д. Сахарова вслед за **статьей**)⁽¹⁾ ●. Эти работы Сахарова и Тамма признаются пионерскими. Дальнейшие исследования продолжались под руководством Л.А. Арцимовича...

...Одним из результатов многолетних усилий большого коллектива советских ученых была система, известная под названием "токамак". Эта система наиболее близка к первоначальным идеям Сахарова и Тамма, рассмотревших, в частности, тороидальную конфигурацию в стационарном и нестационарном вариантах. Сегодня она считается одной из наиболее перспективных.

"В настоящее время перспективы представляются лучшими, чем когда-либо прежде: несколько лет назад русские экспериментаторы изобрели установку, называемую "токамак"... Эта установка сравнительно успешно была воспроизведена в США", — писал в 1976 г. Ханс А. Бете [5].

"Наиболее остроумным и многообещающим способом был так называемый "токамак", предложенный в СССР", — П.Л. Капица (Нобелевская лекция 1978 г.) [6].

Весьма полная картина современного состояния проблемы управляемого термоядерного синтеза дана заместителем директора отдела термоядерных исследований Департамента энергии США Дж.Ф. Кларком в обзоре, написанном в декабре 1979 г. для журнала "Физика плазмы" [7]. Приведу некоторые выдержки из этого обзора:

"Последние результаты экспериментов, выполненных в США, СССР, Европе и Японии, показывают, что "токамак", один из возможных подходов в синтезе, может удерживать термоядерную плазму, необходимую для создания энергии, достаточно хорошо".

"Не существует фундаментальных технических препятствий для практического производства энергии управляемого термоядерного синтеза на основе научного успеха "токамаков"...

...Мы одобряем совместное планирование исследований на крупнейших "токамаках" мира, строящихся в настоящее время: Т-15 в СССР, JT-60 в Японии, JET в Европе и TFTR в США. Эти усилия должны подготовить фундамент для следующего шага — перевода термоядерной программы на стадию инженерных разработок".



А.Д. Сахаров и И.В. Курчатов в роще рядом с домом, где в то время жил И.В. Курчатов на территории ИАЭ, 1958 (фото Д.С. Переверзева)

...Сахаров занимался также принципиально иным, альтернативным методу магнитной изоляции и удержания плазмы, направлением исследований, связанных с использованием лазера. В своей краткой автобиографии А.Д. Сахаров пишет: "В 1961 г. я предложил для тех же целей (получения управляемой термоядерной реакции. — Б.А.) нагрев дейтерия лучом импульсного

лазера" ("Сахаров о себе". Нью-Йорк, 1974). Эта идея возникла независимо в разных странах и сейчас интенсивно разрабатывается как в СССР, так и за рубежом...

...В настоящее время в научных лабораториях многих стран ведутся широкие исследования различных вариантов решения проблемы управляемой термоядерной реакции. После лекции И.В. Курчатова в Харуэлле, которая произвела огромное впечатление во всем мире, исследования по управляемой термоядерной реакции велись открыто и в тесном международном сотрудничестве. Они явились образцом всей системы международного сотрудничества, сложившейся в 50 — 70-х годах и поставленной под удар известными событиями последних лет, в их числе осуждением Ю.Ф. Орлова и высылкой А.Д. Сахарова.

14 сентября 1981 г. в Москве откроется X Европейская конференция по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу. Возможна ли такая конференция без участия основоположника всего направления — академика Сахарова? Беззаконное задержание Сахарова придает этому вопросу исключительную остроту". (Конец цитаты из [1, с. 121—126].)

Помимо сборника [1] в связи с 60-летием А.Д. Сахарова было издано собрание его научных трудов [8] с комментариями ведущих зарубежных специалистов, а также с авторефератом самого Андрея Дмитриевича, в котором о своих работах по УТР он пишет следующее:

"а) Отчеты 1950 — 1951 гг. Совместные с И.Е. Таммом отчеты, в которых предложен принцип магнитной термоизоляции (принцип МТР), определены кинетические коэффициенты "замагниченной" плазмы (теплопроводности, диффузии и термодиффузии), предложена тороидальная конфигурация в стационарном и нестационарном варианте, нестационарный вариант обсуждается в связи с опасениями плазменной неустойчивости.

б) Отчет 1951 г. Предложен термоядерный бридер, в котором нейтроны термоядерной реакции $D+T$ используются для накопления плутония или урана-233 и трития. Плутоний и уран-233 сжигаются в относительно простых (не бридерных) реакторах с производством энергии, трития и делящихся веществ. По-видимому, именно на этом пути управляемая термоядерная реакция раньше всего сможет приобрести практическое значение. Работы а) и б) доложены И.В. Курчатовым при посещении им Харуэллской лаборатории в 1956 г. (во время визита Хрущева и Булганина в Великобританию) и затем опубликованы в трудах Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии. В изданной в 1979 г. книге П.Т. Астащенко "Подвиг академика Курчатова", которая начинается с рассказа о выступлении Курчатова в Харуэлле, фамилии И.Е. Тамма и А.Д. Сахарова не упоминаются. Вышедшая несколькими годами раньше биография Курчатова И.Н. Головина эти фамилии содержит.

в) Доклад 1960 г. Обсуждается возможность осуществления управляемой термоядерной реакции с помощью лазера.

г) В связи с предложенной рядом авторов идеей "взрывного бридинга" автор в нескольких докладах внес ряд дополнительных предложений. В частности, он предложил использование подземной "гофрированной" камеры. Роль прочных стенок, удерживающих давление продуктов взрыва, в этом ва-



А.Д. Сахаров. 50-е годы

рианте получает грунт, а герметизацию осуществляет тонкостенная камера. Все же этот проект может вызывать опасения в смысле радиоактивного заражения, и, быть может, его следует осуществлять на Луне, доставляя произведенное горючее на Землю грузовыми ракетами". (Конец цитаты А.Д. Сахарова из [8], с. 3 — 4.)

В этой краткой вводной статье я не ставлю задачу дать обзор научной деятельности Сахарова либо описать состояние дел на сегодняшний день; тем более, что я не являюсь специалистом в большинстве из тех областей физики, которыми в разные периоды жизни занимался Андрей Дмитриевич. Спектр этот, как известно, достаточно широк: УТР, получение сверхсильных магнитных полей методом имплозии (А.Д. Сахаров [19, 21]), μ -катализ (А.Д. Сахаров [7, 12]), попытка на основе "наивной" кварковой модели угадать спектр масс мезонов и барионов (А.Д. Сахаров [22, 44, 48]), квантовая теория

поля и гравитация, космология, а в одной из последних работ (А.Д. Сахаров [52]) — квантовая космология. Популярно об этом в воспоминаниях А.Д. Сахарова [9] (цитатами из которых я широко пользуюсь ниже, потому что, как мне кажется, самое ценное — это услышать голос самого Андрея Дмитриевича), в специальном выпуске журнала "Природа" [10]. Комментарии специалистов — в [8] и в готовящемся сейчас к печати сборнике — "Научных трудах" А.Д. Сахарова [11]. Публикуемая в этом номере "УФН" статья Р. Далитца — комментарий к кандидатской диссертации А.Д. Сахарова (А.Д. Сахаров [2]), частью которой является статья "Взаимодействие электрона и позитрона при рождении пар" (А.Д. Сахаров [6]), написанный для [11].

2. Фундаментальная физика была все-таки главной страстью Андрея Дмитриевича на протяжении всей его жизни; к сожалению, он смог уделить ей относительно немного времени.

В 1947 г. А.Д. Сахаров предпринял попытку, хотя и неудачную, справиться с ультрафиолетовыми расходимостями в квантовой электродинамике и рассчитать знаменитое лэмбовское расщепление уровней в атоме водорода. Вот как он вспоминает об этом:

"...Диссертация была готова, я думал о дальнейшей научной работе... Я вспомнил, что в литературе обсуждалось наличие в оптическом спектре атома водорода некоей аномалии, противоречащей следующей из теории формуле. А именно, были указания (не очень определенные в силу крайней малости эффекта, лежавшего на пределе точности оптических методов измерения уровней), что из двух уровней атома водорода, которые согласно теории должны тесно совпадать, один лежит несколько выше другого..." (А.Д. Сахаров [9], с. 114).

И далее, в связи с попыткой расчета эффекта, о проблеме УФ расходимостей:

"Это была великая трудность теории, под знаком которой происходило все развитие физики квантовых полей на протяжении многих десятилетий. Я предположил, что надо рассматривать разность эффектов для связанного и свободного электрона. Так как эффект связи сказывается, как я правильно предполагал, лишь при не очень больших частотах нулевых колебаний, то была надежда, что разностный эффект окажется конечным. Чтобы придать корректный смысл вычитанию двух бесконечных величин при вычислениях, сначала можно ограничиться взаимодействием с колебаниями с частотой меньше некоторой предельной частоты "обрезания", достаточно высокой, так что для нее уже мало существен эффект связи, а затем формально перейти к пределу бесконечной частоты обрезания. Я, конечно, понимал, что значение этой идеи далеко выходит за рамки частной задачи об аномалии в атоме водорода и, в частности, должно распространяться на процессы рассеяния. Я был очень взволнован. Со всем этим я пришел к Игорю Евгеньевичу (летом или осенью 1947 г.). К сожалению, он не поддержал и не одобрил меня, скорей — наоборот. Во-первых, он сказал, что эти идеи не совсем новые, в той или иной форме высказывались неоднократно. Это было действительно так, но само по себе не могло бы меня остановить — я уже был настолько увлечен и заинтересован, что меня не слишком заботили такие вещи, как приоритет,

меня интересовало существо дела. Во-вторых, он сказал, что идея, по-видимому, "не проходит", конечного результата не получается. И.Е. сослался при этом на недавно опубликованную работу американского теоретика Данкова, который вычислил радиационные поправки к процессу рассеяния — методом, принципиально очень близким к тому, что я предполагал делать для разности уровней в атоме водорода. Я отыскал в библиотеке работу Данкова; действительно, у него не получилось при вычитании конечного результата (т.е. стремящегося к постоянной величине при стремлении к бесконечности энергии "обрезания"). Вычисления Данкова были очень сложными и запутанными — так как все это происходило еще до работ Фейнмана, придумавшего гораздо более компактный и обозримый общий метод вычислений ("диаграммы" Фейнмана). Данков попросту ошибся, но, конечно, ни Игорь Евгеньевич, ни я не могли этого обнаружить с ходу конкретно. Если бы нам не отказала интуиция, мы должны были усомниться в работе Данкова столько раз, сколько было нужно, чтобы обнаружить ошибку или, что еще разумней, временно игнорировать возникшее противоречие и искать более простые вычислительные задачи, результат которых можно было бы сравнить с опытом. Как известно, именно так действовали более проницательные и смелые люди, добившиеся успеха. Но не мы. Так я упустил возможность сделать самую главную работу того времени (и самую главную, с огромным разрывом, в своей жизни). Конечно, это было не случайно. Перефразируя известное изречение каждый делает те работы, которых он достоин"... ([9], с. 115—116).

"...Вспоминая то лето 1947 года, я чувствую, что я никогда — ни раньше, ни позже — не приближался так близко к большой науке, к ее переднему плану. Мне, конечно, немного досадно, что я лично оказался не на высоте (никакие объективные обстоятельства тут не существенны). Но с более широкой точки зрения я не могу не испытывать восторга перед поступательным движением науки — и если бы я сам не прикоснулся к ней, я не мог бы ощущать это с такой остротой!" ([9], с. 118).

Думаю, что Андрей Дмитриевич не совсем прав, когда говорит здесь, что он никогда больше не приближался так близко к большой науке, к ее переднему плану. Впрочем, тут, наверно, нет объективного критерия. Так он чувствовал, когда в начале 80-х писал эти строки.

В плане теоретической физики середина 60-х годов, — может быть, самый плодотворный период научной деятельности Сахарова. Космология, квантовая теория поля и гравитация, кварки, мезоны и барионы — таков круг его интересов.

3. Индуцированная гравитация (А.Д. Сахаров [29, 30, 38, 43]). Квантовый вакуум материальных полей "откликается" на внешние поля (электромагнитное, гравитационное и т.п.), что приводит к перенормировке максвелловского либо эйнштейновского члена действия. Можно предположить, что затравочное гравитационное действие равно нулю, а наблюдаемые явления тяготения целиком и полностью определяются квантовыми поправками — в этом знаменитая, вошедшая в учебники (см., например, [12, т. 2, с. 56 — 57]) идея А.Д. Сахарова, которую он называл "теорией нулевого лагранжиана гравитационного поля". Математически проблема сводится к исследованию перестройки спектров операторов Д'Аламбера, Дирака во внешних полях, фи-

зически эффект квантово-индуцированного возникновения гравитационного притяжения подобен известному (и экспериментально подтвержденному) эффекту Казимира в квантовой электродинамике (см. комментарий Д.А. Киржница в [10, с. 65]). В [9] Андрей Дмитриевич следующим образом излагает этот круг идей:

"Я решил рассмотреть те изменения энергии нулевых колебаний полей элементарных частиц, которые имеют место при переходе от плоского четырехмерного пространства-времени к искривленному, и связать эти изменения энергии с выражениями, входящими в уравнение теории тяготения Эйнштейна. Эйнштейн и (независимо от него) Давид Гильберт *постулировали* эти выражения, а коэффициент при них, обратно пропорциональный гравитационной постоянной, брали из опыта. По моей идее функциональный вид уравнения теории тяготения (т.е. общей теории относительности), а также численная величина гравитационной постоянной должны следовать из теории элементарных частиц "сами собой", без каких-либо специальных гипотез.

Зельдович встретил мою идею с восторгом и вскоре сам написал работу, ею иницированную.

Я назвал свою теорию "теорией нулевого лагранжиана". Это название связано с тем, что теоретикам часто удобно иметь дело не с энергией и давлением, а со связанной с ними другой величиной — так называемой функцией Лагранжа: это разность кинетической и потенциальной энергий (на квантовом языке — с лагранжианом). В части своих работ я пользовался этим аппаратом.

Для наглядного изображения своей идеи я придумал образный термин — "метрическая упругость вакуума". При внесении в вакуум материальных тел, обладающих некоторой энергией, они стремятся его "искривить", т.е. изменить его метрику (геометрию). Но вакуум "противится" такому изменению, так как благодаря происходящим в нем квантовым движениям он обладает "упругостью". Наглядный образ — шланг, по которому течет вода. В этом случае, однако, упругость имеет обратный знак, имеет место неустойчивость. Чем больше упругость вакуума, тем меньше изменяется его геометрия телами данной массы и тем меньше гравитационное искривление траекторий. По масштабам микромира упругость вакуума очень велика, т.е. гравитационные взаимодействия для частиц микромира — слабы..." [9, с. 46 — 47].

О работе (А.Д. Сахаров [43]) в "Воспоминаниях":

"В 1974 г. я сделал, а в 1975 г. опубликовал работу, в которой развивал идею нулевого лагранжиана гравитационного поля, а также те методы расчета, которые я применял в предыдущих работах. При этом оказалось, что я пришел к методу, много лет назад предложенному Владимиром Александровичем Фоком, а затем — Юлианом Швингером. Однако мой вывод и сам путь построения, методы были совершенно иными. К сожалению, я не смог послать свою работу Фоку — он как раз тогда умер.

Впоследствии я обнаружил в своей статье некоторые ошибки. В ней остался невыясненным до конца вопрос: дает ли "индуцированная гравитация" (современный термин, применяемый вместо термина "нулевой лагранжиан" (правильный знак гравитационной постоянной в каких-либо вариантах, которые я рассматривал" [9, с. 780 — 781].

Проблема вычисления индуцированной гравитационной постоянной (G_{ind}) еще ждет своего решения. В комментарии к этим работам Сахарова в книге [8] С. Адлер утверждает (см. также его статью в [10] и обзор [13]), что рассчитывать на вычислимость конечной G_{ind} можно лишь в изначально конформно-инвариантной теории, в мультиплекле исходных полей которой отсутствуют скалярные поля. При этом гравитационная постоянная, так же как и ненулевые массы частиц, должна возникать не за счет "внешнего" механизма Хиггса, а благодаря так называемому динамическому спонтанному нарушению масштабной инвариантности. Сахаров часто возвращался к обсуж-



А.Д. Сахаров, Я.Б. Зельдович, Л.А. Халфин (международный семинар "Квантовая гравитация". Москва, май 1987 г. (фото А.И. Зельникова)

дению вариантов конформно-инвариантной, безмассовой исходной теории. В связи с этим важная, с моей точки зрения, идея высказана им (А.Д. Сахаров [52]) в контексте "высокомерной" физики. Но об этом ниже.

Появившуюся в 80-е годы теорию струн ("теорию всего" — ТОЕ), возрождение интереса к старым идеям Калуцы и Клейна о существовании дополнительных измерений пространства-времени Сахаров называл "великими событиями нашего времени". В книге [14] он так пишет о своих занятиях наукой в 1986 г.:

"Я поставил себе задачей изучить теорию струн и примыкающие теории, а также изучить теоретические работы на стыке космологии и физики высоких энергий. Я не очень надеюсь на личный творческий успех, но понимать сущность того, что, возможно, является очередной революцией в физике, — должен стремиться!!!...".

"Теория струн является, на новом уровне, реализацией моей старой идеи об индуцированной гравитации! Не могу этим не гордиться" [14, с. 14 — 15].

4. Барионная асимметрия Вселенной. Объяснение этого макроскопического феномена, — возможно, главный результат Сахарова в фундаментальной физике. Из автореферата А.Д. Сахарова, написанного для [8] в 1980 г.:

"В этой работе (А.Д. Сахаров [26]. — Б.А.) высказано предположение о происхождении наблюдаемой барионной асимметрии Вселенной $A = N_B/N_\gamma \approx 10^{-9}$ из начального зарядово-симметричного состояния в результате неравновесных процессов на ранней стадии расширения "горячей" Вселенной с нарушением СР-инвариантности и барионного заряда. Нарушение СР-инвариантности было открыто экспериментально незадолго до написания работы. Нарушение барионного заряда постулировано в этой работе, при этом был предложен конкретный механизм, обеспечивающий сохранение "комбинированного заряда" $3B + L$.

В работе указано, что вследствие СРТ-симметрии в стационарных условиях барионная асимметрия не может возникнуть, поэтому существенны отклонения от равновесия, обусловленные космологическим расширением. Комбинированный закон сохранения фермионов (при разрешенных превращениях кварки—лептоны) приводит к гораздо **бóльшим** временам жизни протона при той же массе кварк-лептонного бозона, чем предсказывается гранд-симметрией SU_5 , O_{10} и т.п. Поэтому, если будет обнаружен распад протона со временем жизни порядка 10^{30} лет, моя гипотеза комбинированного закона сохранения должна быть оставлена.

В работе высказана также идея космологической СРТ-симметрии относительно точки Фридмановской сингулярности. Такая симметрия включает изменение направления течения энтропийного времени. "Поворот стрелы времени" снимает известный с конца XIX в. парадокс обратимости. При $t < 0$ в статистических уравнениях производные по времени входят с обратным знаком, а при $t > 0$ — с нормальным, т.е. в космологической теории восстанавливается присущая уравнениям движения симметрия двух направлений времени также для неравновесных процессов (включая процессы жизни)".

О современном состоянии проблемы барионной асимметрии см. ниже обзорный доклад А.Д. Сахарова на Фридмановской конференции в Ленинграде

в июне 1988 г. (А.Д. Сахаров [54]). А.Д. Сахаров (из интервью во время Фридмановской конференции):

"В настоящее время мы имеем скорее избыток сценариев происхождения барионной асимметрии. Все они обладают как определенными достоинствами, так и существенными недостатками. Выбрать какой-либо один в качестве предпочтительного мне не представляется сейчас возможным. По-видимому, это дело будущего, но принципиальных трудностей здесь нет.

Все существующие схемы возникновения барионной асимметрии основываются на трех известных предпосылках: отсутствие закона сохранения барионного заряда, и как следствие — распад протона; отличие частиц от античастиц, проявляющееся в нарушении СР-инвариантности; нестационарность Вселенной. Если два последних положения не вызывают сомнений, то с нестабильностью протона дело обстоит сложнее. Двадцать лет назад единственным аргументом в пользу этой гипотезы был факт барионной асимметрии Вселенной. С тех пор появились теории Великого объединения, в которых несохранение барионного заряда возникает естественно. Однако экспериментально обнаружить распад протона пока не удалось" [15, с. 8].

5. Многолистные (пульсирующие, осциллирующие) модели Вселенной (А.Д. Сахаров [37, 46, 50, 51]). Такие модели, как пишет Сахаров (см. (А.Д. Сахаров [51])), "естественно объясняют чрезвычайно малую среднюю пространственную кривизну Вселенной, отнесенную к плотности энтропии в степени $2/3$ ". Энтропия в каждом следующем цикле больше, чем в предыдущем, и современное малое ($\sim 10^{-58}$) значение указанного безразмерного параметра обусловлено тем, что от начального момента минимальной энтропии прошло достаточно много циклов. Инфляционные модели с их "производством энтропии" при распаде "вакуума" скалярного поля, очевидно, дают альтернативное объяснение этого большого (в минус первой степени) числа. В письме, полученном мной из Горького в мае 1982 г., Андрей Дмитриевич, в частности, писал:

"...Относительно космологических идей экспоненциальной начальной фазы. (С усовершенствованием Линде или без оно.) Я пока отношусь к ним настороженно (может — старость?). Мне непонятно, как, начиная с гигантской космологической постоянной, получить в современном вакууме нуль. И главное — мне не хочется отказываться от многолистной модели. Ну ладно, пождем. Будущее покажет, кто прав...".

В упомянутом интервью во время Фридмановской конференции Сахаров так говорит об инфляционных моделях, в основе которых представление о начальном вакуумно-подобном состоянии вещества (впервые введенном Э.Б. Глинером в 1965 г. [16]; вакуумно-подобное уравнение состояния вещества, как одну из возможностей в сверхплотной области вблизи сингулярности, рассматривал также и Сахаров (А.Д. Сахаров [20])):

"Обращаясь к прошлому Вселенной, можем ли мы сказать с полной уверенностью, что вначале она была очень плотной, горячей? Если говорить о временах ~ 1 с после начала, то она, безусловно, была очень горячей. Но если речь идет о времени 10^{-44} с, то тут мы пока еще ничего определенного не знаем. Возможно, в этот момент был абсолютный вакуум, абсолютная пу-

стота, т.е., наоборот, было очень холодно. Однако не нужно забывать, что это не простая пустота со всеми ее свойствами изотропии и равной нулю температурой, а это вакуум, обладающий энергией и отрицательным давлением.

Сейчас это лишь одна из тех веточек, вариантов на нашем древе познания, которая, может быть, соответствует действительности, а возможно, мы должны "вырастить" совсем другие веточки, двигаясь назад во времени, и именно их оставить на этом древе. Идея красивая, но, к сожалению, природа не всегда стремится к такой элементарной красоте, иногда она находит еще более высокую красоту, о которой мы и не подозревали. Но в общем, мне нравится идея начального вакуума" [15, с. 10].

Первые мгновения существования нашей Вселенной, последующие этапы ее эволюции на протяжении $\sim 10^{10}$ лет, в результате которых возникла наблюдаемая сегодня картина, — на этих проблемах в основном сосредоточено внимание космологов, астрофизиков. В своих работах о многолистной Вселенной А.Д. Сахаров рассматривает не только прошлое, но и будущее, причем весьма далекое. (Какова эволюция Вселенной после того, как все протоны распадутся, $t > 10^{30}$ лет? Каково конечное состояние при сжатии и что будет после прохождения сингулярности?) Можно ли совместить идеи осциллирующей Вселенной и экспоненциального поведения масштабного фактора вблизи его минимального значения? Такого рода модели обладают рядом преимуществ [17], но вступают в противоречие со II началом термодинамики: вакуумно-подобное состояние, устойчивое при расширении, не может быть конечным состоянием при коллапсе. В попытке преодолеть эту трудность и тем самым разрешить упомянутую "многолистно-инфляционную" дилемму Сахарова я рассмотрел некие экзотические теории, в которых возникающее в высокоэнергетической области "вакуумно-подобное" состояние обладает не только энергией, но и энтропией [18].

6. О повороте стрелы времени (ПСВ). Из гипотезы СРТ-симметрии Вселенной (не динамических уравнений, а *состояния* Вселенной) следует обращение в нуль средней плотности любого сохраняющегося заряда. Именно из нее, если учесть наблюдаемую барионную асимметрию Вселенной, с необходимостью (Сахарову очевидной) вытекала "сумасшедшая" идея о несохранении барионного заряда. Но наблюдаемый мир не только С-асимметричен, но также и Т-асимметричен ("нельзя два раза ступить в один и тот же поток"). Необратимое течение времени Сахаров всегда связывал исключительно со вторым началом термодинамики, с ростом энтропии. Как эту макроскопическую Т-асимметрию совместить с гипотезой СРТ-симметрии Вселенной? И другой вопрос, с этим связанный. Если энтропия растет, то, значит, раньше она была меньше, чем сейчас, а еще раньше — минимальна (или равна нулю). А еще раньше? Если стрела времени определена ростом энтропии, то слово "раньше" в последнем вопросе лишено смысла. От момента минимальной энтропии (точки Φ (А.Д. Сахаров [37, 50])) "в обе стороны" по времени может быть только "позже". Это явление Сахаров назвал "поворотом стрелы времени". В момент ПСВ не предполагается нарушения динамических законов физики. Этот момент выделен только тем, что это состояние (определенное

на сингулярной или несингулярной гиперповерхностях), в котором отсутствуют Т-неинвариантные статистические корреляции" (А.Д. Сахаров [46]). Гипотеза СРТ-симметрии Вселенной есть частный случай гипотезы ПСВ, поскольку первая обязательно требует сингулярности точки Φ (при РТ-отражении компоненты гравитационного репера меняют знак, а значит, в точке симметрии должны обращаться в нуль (А.Д. Сахаров [50])). Вообще же говоря, ПСВ может происходить и в момент максимального расширения. Имеется в виду, что Вселенная в этот момент пустая, энтропия минимальна, а "наполнение" произошло в последующих циклах (см. рисунок в работе (А.Д. Сахаров [51])). Идею ПСВ высказывал также и Хокинг, с которым Сахаров встретился во время Международного семинара "Квантовая гравитация" (Москва, май 1987 г.). Вот как Андрей Дмитриевич описывает эту встречу:



С. Хокинг и А.Д. Сахаров. Международный семинар "Квантовая гравитация". Москва, май 1987 г. (фото А.И. Зельникова)

"Сила духа этого человека поразительна, он сохранил дружелюбие к людям, чувство юмора и неистощимую любознательность, огромную научную активность... Я несколько раз разговаривал с Хокингом, когда он с помощью своего механического кресла выезжал из зала заседаний... Во время первого разговора Хокинг дал мне оттиски своих последних работ — о потере когерентности в сложных топологических структурах, о направлении стрелы времени и др. Первую работу он докладывал на семинаре и сказал, перефразируя Эйнштейна: "Бог не только играет в кости, но и забрасывает их так далеко, что они становятся недоступными". На другой день я сказал Стивену, что прочитал его лекцию о стреле времени и очень рад, что он теперь признал справедливость критики Пейджа (его сотрудника) по поводу ошибочного предположения о повороте стрелы времени в момент максимального расширения Вселенной и *максимальной* энтропии. Поворот стрелы времени возможен лишь в состоянии *минимальной* энтропии. Я не привел по робости самого простого и ясного примера — замкнутой Вселенной в состоянии ложного вакуума с положительной энергией и равной нулю энтропией. В этот момент Хокинг сделал движение пальцами, и компьютер произнес бесстрастно: "Йес!". Я, к сожалению, не сказал, что впервые высказал идею о повороте стрелы времени (в состоянии минимальной энтропии) еще в 1966 г. и несколько раз возвращался к этой теме" [14, с. 65 — 66].

В [9] А.Д. Сахаров весьма подробно пишет об этом круге вопросов и, в частности, о самой постановке проблемы:

"В "стандартной" (однолистной) космологии существует проблема: что было до момента максимальной плотности? В многолистных космологиях (кроме случая пространственно-плоской модели) от этой проблемы не удастся уйти — вопрос переносится к моменту начала расширения первого цикла. Можно стать на ту точку зрения, что начало расширения первого цикла или, в случае стандартной модели, единственного цикла это Момент Сотворения Мира — и поэтому вопрос о том, что было до этого, лежит за пределами научного исследования. Однако, быть может, так же — или, по-моему, больше — правомерен и плодотворен подход, допускающий неограниченное научное исследование материального мира и пространства-времени. При этом, по-видимому, нет места Акту Творения, но основная религиозная концепция божественного смысла Бытия не затрагивается наукой, лежит за ее пределами.

Мне известны две альтернативные гипотезы, относящиеся к обсуждаемой проблеме. Одна из них, как мне кажется, впервые высказана мною в 1966 г. и подвергалась ряду уточнений в последующих работах. Это гипотеза "поворота стрелы времени". Она тесно связана с так называемой проблемой обратимости...

...Альтернативная гипотеза о предыстории Вселенной заключается в том, что на самом деле существует не одна Вселенная, и не две (как — в некотором смысле слова — в гипотезе поворота стрелы времени), а множество кардинально отличающихся друг от друга и возникших из некоторого "первичного" пространства (или составляющих его части; это, возможно, просто иной способ выражения). Другие Вселенные и первичное пространство, если есть смысл

говорить о нем, могут, в частности, иметь по сравнению с нашей Вселенной иное число "макроскопических" пространственных и временных измерений — координат (в нашей Вселенной — три пространственных и одно временное измерение; в иных Вселенных все может быть иначе!). Я прошу не обращать особого внимания на заключенное в кавычки прилагательное "макроскопических". Оно связано с гипотезой "компактизации", согласно которой большинство измерений компактифицировано, т.е. замкнуто само на себя в очень малых масштабах.

Предполагается, что между разными Вселенными нет причинной связи. Именно это оправдывает их трактовку как отдельных Вселенных. Я называю эту грандиозную структуру "Мега-Вселенная". Некоторые авторы обсуждали варианты подобных гипотез. В частности, гипотезу многократного рождения замкнутых (приблизленно гиперсферических) Вселенных защищает в одной из своих работ Я.Б. Зельдович.

Идеи "Мега-Вселенной" чрезвычайно интересны. Быть может, истина лежит именно в этом направлении. Для меня в некоторых из этих построений есть, однако, одна неясность несколько технического характера. Вполне допустимо предположить, что условия в различных областях пространства совершенно различны. Но обязательно законы природы должны быть всюду и всегда одними и теми же. Природа не может быть похожей на Королеву в сказке Кэролла "Алиса в стране чудес", которая по своему произволу изменяла правила игры в крокет. Бытие не игра. Мои сомнения относятся к тем гипотезам, которые допускают разрыв непрерывности пространства-времени. Допустимы ли такие процессы? Не есть ли они нарушение в точках разрыва именно законов природы, а не "условий бытия"? Повторяю, я не уверен, что это обоснованные опасения; может, я опять, как в вопросе о сохранении числа фермионов, исхожу из слишком узкой точки зрения. Кроме того, вполне мыслимы гипотезы, где рождение Вселенных происходит без нарушения непрерывности.

Предположение, что спонтанно происходит рождение многих, а может быть, бесконечного числа отличающихся своими параметрами Вселенных, и что Вселенная, окружающая нас, выделена среди множества миров именно условием возникновения жизни и разума, получило название "*антропного принципа*" [9, с. 784 — 787].

7. Космологические переходы с изменением сигнатуры метрики. Приведенные выше цитаты — из одной из последних, 29-й главы "Воспоминаний", написанной (либо переписанной заново после очередного похищения рукописи книги в октябре 1982 г.) в 1983 г. В этот же период Сахаров пишет статью, название которой вынесено в заголовок этого раздела. Антропный принцип (см. о нем в [19, 20]), Мега-Вселенная, "добавочные" измерения пространства-времени — об этом, среди прочего, в работе (А.Д. Сахаров [52]), представленной в "ЖЭТФ" в апреле 1984 г. и опубликованной в августе, когда Андрей Дмитриевич уже более трех месяцев находился в Горьковской областной больнице им. Семашко со всеми из этого вытекающими последствиями (см. [21]).

Несколько слов о том времени, когда писалась работа (А.Д. Сахаров [52]). 1983 г.: судьбоносная статья "Опасность термоядерной войны. Ответ Сиднею Дреллу"; в апреле инфаркт у Е.Г. Боннэр, которая эту статью вывезла из Горького (май) и передала за рубеж для публикации (июнь); антисахаровское письмо академиков А.А. Дородницына, А.М. Прохорова, Г.К. Скрыбина и А.Н. Тихонова и последовавшая за этим беспрецедентная травля Елены Георгиевны. Андрей Дмитриевич сознает, что вопрос ставится о жизни и смерти и, желая разрубить этот узел, требует, чтобы его жену отпустили на лечение за рубеж. При этом, он, как я понимаю, рассчитывал на успех, но, конечно, только в том случае, если будет достаточно интенсивная поддержка. Образно говоря, для достижения успеха нужна "имплозия", сочетание усилий, направленных одновременно с разных сторон в *одну точку*. Эффективность идеи такого кумулятивного сжатия ему была хорошо известна: конструкция бомбы, магнитная кумуляция, лазерное обжатие, а в делах общественных: победа 1980 г., когда благодаря сочетанию усилий Отдела теоретической физики (ОТФ) ФИАН и зарубежных коллег он был оставлен работать в ФИАНе; победа с выездом за рубеж невестки, Лизы Алексеевой, в декабре 1981 г. К сожалению, "сумасшедшая" идея с поездкой Елены Георгиевны была воспринята примерно так же, как в 1967 г. идея распада протона — в лучшем случае с недоумением. "Имплозии" в данном случае не получилось, и Андрей Дмитриевич был вынужден решать проблему сам, полагаться только на себя. На рукописи, а также на хранящихся в ОТФ авторских экземплярах статьи "Космологические переходы с изменением сигнатуры метрики" рукой Сахарова написано: "Посвящается Люсе". В журнале посвящение отсутствует, так же как и ранее в статье "Многолистные модели Вселенной" (А.Д. Сахаров [51]) было снято посвящение памяти президента Национальной Академии наук США доктора Филиппа Хендлера.

Основная идея работы (А.Д. Сахаров [52])⁽²⁾ ●: в квантовой гравитации (и шире — в квантовой космологии) следует учитывать не только малые флуктуации гравитационного поля (гравитоны) и не только флуктуации, приводящие к изменению топологии (например, дочерние вселенные в пространстве с сигнатурой $(-+++ \dots)$), но также и квантовые переходы с изменением числа осей времени. При этом все рассмотрение ведется не в 4-мерии, а в пространстве высшего, вообще говоря очень большого, числа измерений. (Большое число дополнительных координат, а также сложная топология компактных пространств, по-видимому, как пишет Сахаров в параграфе 4, необходимы для объяснения малости наблюдаемой космологической постоянной в рамках "антропологического" подхода к этой проблеме.) Таким образом, знаки компонент метрического тензора при квантовании должны быть не связями, а динамическими переменными; в фейнмановский функциональный интеграл (1) работы (А.Д. Сахаров [52]) равноправно входят члены как с мнимым, так и с действительным показателем экспоненты, что автоматически учитывается множителем \sqrt{g} в (1).

Кардинальная проблема — выбор лагранжиана L , описывающего теорию тяготения в Q -мерном пространстве.

Предложение Сахарова: действие в Q -мерии должно быть конформно-

инвариантным, т.е. (символически) $L \sim C^{Q/2}$, где C — тензор Вейля. Такой лагранжиан может возникнуть в рамках концепции "индуцированной гравитации" как поляризационный эффект, обусловленный "упругостью вакуума" безмассовых конформно-инвариантных в Q -пространстве полей материи. При этом он не содержит размерных параметров и, в принципе, вычисляем (если, конечно, удастся конформно-инвариантным способом справиться с ультрафиолетовыми расходимостями). Стандартный лагранжиан Эйнштейна—Гильберта в 4-мерии, так же как и весь ряд по кривизне "нашего" пространства-времени, восстанавливается на следующем этапе: в результате компактификации "лишних" измерений. *Индукционаны эйнштейновского действия компактификацией есть существенное и нетривиальное расширение идеи квантово-индуцированной гравитации, впервые высказанной Сахаровым в 1967 г.*

В теории струн, в суперсимметричных теориях с "плоскими потенциалами", в "безмасштабных" моделях типа Калуцы—Клейна спектр полей 4-мерной эффективной теории включает безмассовые скалярные поля (дилатон, масштаб компактификации), от которых мультипликативно зависят ньютоновская постоянная, постоянная тонкой структуры и т.п. Это приводит к известной трудности "плывущих", космологически меняющихся констант, что с огромной точностью исключается наблюдениями. Эта проблема, насколько мне известно, пока не решена; надежды здесь возлагаются на низкоэнергетические квантовые радиационные поправки, в результате которых в первоначально плоском потенциале должен возникнуть минимум, фиксирующий вакуумное среднее скалярных нуль-мод. Однако вся низкоэнергетическая область ($E \ll M_{\text{Pl}}$, $E \sim \lesssim 10^2$ ГэВ, $M_{\text{Pl}} \sim 10^{19}$ ГэВ) есть терра инкогнита современных единых теорий. Идея Сахарова о первичной конформно-инвариантной теории гравитации в Q -мерии предлагает совсем иное решение проблемы "плывущих" констант. В такой теории зависимость радиуса компактификации от макроскопических координат 4-мерия всегда можно откалибровать масштабным преобразованием. (Ситуация полностью аналогична случаю теории Бранса—Дикке с $\omega = -3/2$, в которой переменность ньютоновской постоянной фиктивна; ср. (А.Д. Сахаров [41]).) В результате гравитация в 4-мерном пространстве описывается стандартной теорией Эйнштейна (а не теорией Бранса—Дикке), тогда как безразмерные константы взаимодействия калибровочных полей есть числа, не зависящие от масштаба компактификации ρ .

Для иллюстрации этого круга идей Сахарова я рассчитал "4-мерные" калибровочную и ньютоновскую постоянные для модели компактификации $M^Q = R^4 \times S^K$ (R^4 — пространство Минковского, S^K — K -мерная сфера, $Q = K + 4$) в теории с исходным конформно-инвариантным, суперсимметризуемым, так называемым "геометрическим" действием (см. в обзоре [22]), являющимся "цепочным" произведением тензоров Вейля:

$$S(Q) = \gamma \int (\text{Tr } C^{Q/2} \sqrt{|g|} d^Q x; \quad (\text{a})$$

$$\text{Tr } C^m = C_{ij}^{kl} C_{kl}^{pq} \dots C_{rs}^{ij} - m \text{ сомножителей, } \gamma \text{ — безразмерная константа.}$$

Первые члены возникающего в результате компактификации эффективного лагранжиана:

$$L^{(4)} = \Lambda + \frac{1}{16\pi G} R - \frac{1}{4\alpha^2} F^2; \quad (б)$$

Λ — космологический член, G — ньютоновская постоянная, α — константа взаимодействия калибровочного поля Янга—Миллса группы движений сферы S^K , параметризующего в соответствии со стандартной процедурой Калуцы—Клейна недиагональные компоненты метрического тензора Q -пространства. Используя в (а) общие формулы работы [23], в данном случае получаем ($Q = K + 4$, $K = 2d$, ρ — радиус компактификации, $\Omega^{(K)}$ — объем K -мерной сферы единичного радиуса):

$$\frac{1}{16\pi G} = \gamma c d A \frac{1}{\rho^2}, \quad (в)$$

$$\frac{1}{\alpha^2} = \gamma c \frac{d+1}{2d+1} [6A + 4(d+1)^2(2d+3)^2 B], \quad (г)$$

где

$$c = \Omega^{(2d)}(d+2)(2d-1)[(d+1)(2d+3)]^{-(d+2)},$$

$$A = (-1)^{d+2}\{12^{d+1} + [2d(2d-1)]^{d+1}\} + 2[3(2d-1)]^{d+1},$$

$$B = (-1)^{d+1}\{12^d + [2d(2d-1)]^d\} - [3(2d-1)]^d.$$

Принципиальное отличие конформно-инвариантного подхода Сахарова от "классической" теории Калуцы—Клейна, в которой калибровочная константа взаимодействия определяется отношением l_{Pl}/ρ ($l_{Pl} = 10^{-33}$ см — планковская длина), состоит в том, что здесь, как видно из (г), α не зависит от ρ и определяется лишь размерностью и геометрией компактного пространства "дополнительных" измерений, а также константой γ в первичном действии (а). Последняя, как уже говорилось, в принципе, вычислима, если (а) — квантово-индуцированное действие.

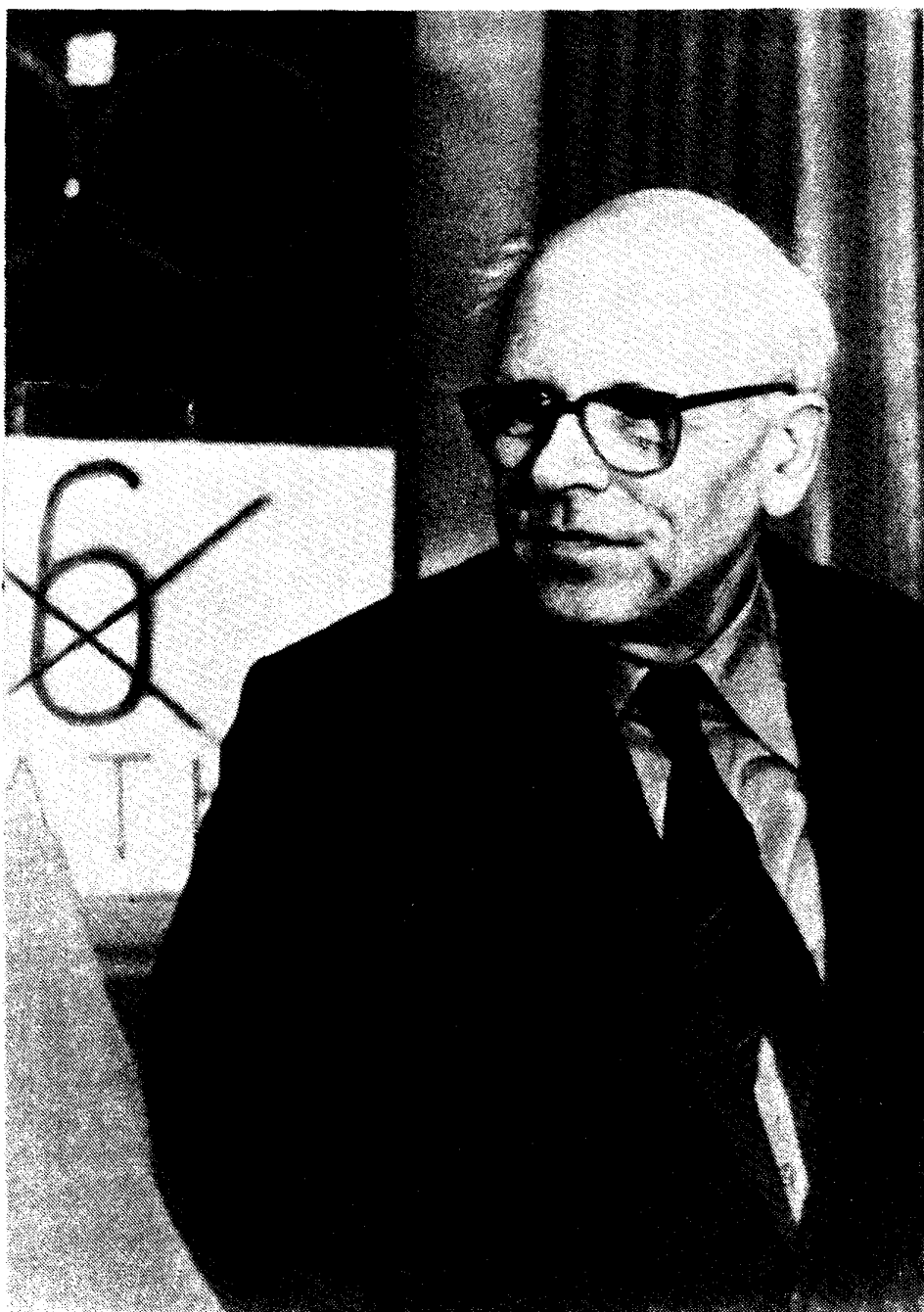
Рассмотренная модель компактификации нефизична, так как в ней отличен от нуля Λ -член в (б), а также, как видно из (в), (г), невозможно одновременно $G > 0$ и $\alpha^2 > 0$. Я рассмотрел эту игрушечную модель в чисто иллюстративных целях, потому что идея Сахарова о конформно-инвариантной теории гравитации в высокомерном пространстве мне кажется перспективной, и я хотел на конкретном примере показать, как это работает. Статья (А.Д. Сахаров [52]) богата идеями, что удивительно, если вспомнить, в каких условиях она писалась.

8. Два последующих года (1984, 1985) Андрей Дмитриевич почти совсем не мог заниматься наукой. В больнице он не мог даже думать о науке, потому



А.Д. Сахаров. После окончания полугодовой голодовки. Горький (Нижний Новгород), октябрь 1985 г.

что, как он потом рассказывал, его ни на минуту не оставляли одного переодетые больными агенты. В 1986 г. Сахаров написал и опубликовал в "ЖЭТФ" работу "Испарение черных мини-дыр и физика высоких энергий" (А.Д. Сахаров [53]). Можно ли наблюдать "теневой мир", частицы которого крайне слабо взаимодействуют с элементарными частицами нашего мира? Сахаров показывает что это, в принципе, возможно через универсальное взаимодействие — гравитацию, и показывает, что существуют весьма тонкие эффекты, когда свойства "тенивых" частиц сказываются на поведении черных дыр.



А.Д. Сахаров. В ФИАНе 11 декабря 1989 г. во время митинга (двухчасовая предупредительная забастовка с требованием отмены 6-й статьи Конституции СССР)

После Чернобыля Андрей Дмитриевич выступает с радикальным предложением об обеспечении безопасности реакторов АЭС — размещение их под землей. В последующие годы, уже в Москве, он, несмотря на огромную загрузку общественными делами, изучает и разрабатывает этот вопрос, встречается со специалистами, в том числе с директором Горного института Кольского научного центра АН СССР профессором Н.Н. Мельниковым, статья которого о проблеме подземного размещения публикуется в [11]. А.Д. Сахаров выступил с инициативой принятия международного закона, запрещающего строительство наземных АЭС. Интересно, что в этом вопросе его позиция

совпадает с позицией "отца" американской водородной бомбы Эдварда Теллера.

Еще в 1986 г. Андрей Дмитриевич выступает с предложением о предотвращении массовой гибели людей при катастрофических землетрясениях. В октябре 1988 г. он сделал доклад на эту тему в Ленинграде на Советско-американском семинаре "Нелинейные системы в прогнозе землетрясений". "АДС высказал мнение, что можно искусственно вызывать землетрясения, используя в качестве спускового механизма ядерный взрыв на большой глубине... Цель такого воздействия — сбросить накопившуюся энергию, пока еще не ставшую критической, и, таким образом, избежать больших потерь", — писал Г.И. Баренблатт [10, с. 120]. На эту тему см. также статью В.И. Кейлис-Борока в [11].

Вместе с тем, как я уже говорил, фундаментальная физика была и до конца оставалась главной страстью Андрея Дмитриевича. Он был в курсе основных событий в этой области, хотя сам заняться чем-либо конечно не мог, особенно после избрания в 1989 г. Народным депутатом СССР. Однажды я ему задал этот банальный и, в сущности, нелепый вопрос: "Когда Вы займетесь наукой?". "Когда меня снова сошлют в Горький", — ответил Андрей Дмитриевич. Тем не менее в июне 1988 г. на международной конференции, посвященной 100-летию А.А. Фридмана, Сахаров сделал большой обзорный доклад "Барионная асимметрия Вселенной" (А.Д. Сахаров [54]). После кончины в декабре 1987 г. Я.Б. Зельдовича он возглавил Совет по космомикрופизике при Президиуме АН СССР.

29 ноября 1989 г., за две недели до смерти, он участвовал в заседании Совета в ГАИШ ⁽³⁾ ●, участвовал очень активно (см. об этом статью М.Ю. Хлопова в [10]).

Как я уже говорил, эти заметки — не обзор научной деятельности А.Д. Сахарова, и я не буду подводить итог. Нет смысла повторять общеизвестное о таких бесспорных достижениях как магнитный термоядерный реактор, магнитная кумуляция или объяснение барионной асимметрии Вселенной. Некоторые идеи и результаты прочно вошли в науку, другие еще находятся в инкубационной стадии.

В августе 1989 г., заканчивая свою вторую (и последнюю) книгу воспоминаний, на ее последней странице Андрей Дмитриевич написал:

"Конечно, окончание работы над книгой создает ощущение рубежа, итога. "Что ж непонятная грусть тайно тревожит меня?" (А.С. Пушкин). И в то же время — ощущение мощного потока жизни, который начался до нас и будет продолжаться после нас. *Это чудо науки.* Хотя я и не верю в возможность скорого создания (или создания вообще?) всеобъемлющей теории, но я вижу гигантские, фантастические достижения на протяжении даже только моей жизни и жду, что этот поток не иссякнет, а наоборот, будет шириться и ветвиться..." [14, с. 220].

Автор благодарен Л.Б. Окуню, прочитавшему рукопись статьи и сделавшему ценные замечания.

ПРИМЕЧАНИЯ

¹ (А.Д. Сахаров [10] ,...) означает номер ссылки в приводимом вслед за этой статьей списке научных трудов, научно-популярных работ, статей и выступлений А.Д. Сахарова.

² Выражаю благодарность И.В. Воловичу и И.Д. Новикову за обсуждение этого круга вопросов в связи с работой (А.Д. Сахаров [52]).

³ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга (МГУ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Сахаровский сборник/Составители: А.П. Бабенышев, Р.Б. Лерт, Е.И. Печуро. — Нью-Йорк: Хроника, **1981**. — (Репринтное издание сборника готовит изд-во "Книга").
2. Головин И.Н. И.В. Курчатов. — М.: Атомиздат, **1967**, 1972.
3. Курчатов И.В. О возможности создания термоядерных реакций в газовом разряде//АЭ. **1956**. Т. 1, № 3. С. 65.
4. Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций/Под ред. М.А. Леонтовича. Т. 1. — М.: Изд-во АН СССР, **1958**.
5. Бете Г./УФН. **1976**. Т. 120. С. 454; оригинал://Sci. American. **1976**. V. 234, No 1, P. 21).
6. Капица П.Л./УФН. **1979**. Т. 129. С. 69. — Нобелевская лекция 1978 г. по физике.
7. Кларк ДЖ.Ф./Физ. плазмы. **1980**. Т. 6, вып. 6.
8. Sakharov A.D. Collected Scientific Works/Eds. D. Ier Haar, D.V. Chudnovsky, G.V. Chudnovsky. — New York; Basel: Marcel Dekker, **1982**.
9. Сахаров Андрей. Воспоминания. — Нью-Йорк: Изд-во им. Чехова, 1990.
10. Природа. **1990**. № 8.
- [11] Сахаров А.Д. Научные труды. — М.: ФИАН СССР, **1991** (в печати).
12. Misner C.W., Thorne K.S., Wheeler J.A. Gravitation. — San Francisco: Freeman, **1973**. — Рр. 426 — 428; перевод: Мизнер Ч., Торн К., Уилер Дж. Гравитация. — М.: Мир, **1977**.
13. Adler S.L./Rev. Mod. Phys. **1982**. V. 54. P. 729.
14. Сахаров Андрей. Горький, Москва, далее везде. — Нью-Йорк: Изд-во им. Чехова, 1990.
15. Природа. **1989**. № 7. С. 8.
16. Глинер Э.Б./ЖЭТФ. **1965**. Т. 49. С. 542; ДАН СССР. **1970**. Т. 102. С. 771.
17. Марков М.А. //Труды третьего семинара "Теоретико-групповые методы в физике". Юрмала, 22 — 24 мая 1985 г. — М.: Наука, **1986**. — С. 7.
18. Altshuler B.L./Class. and Quantum Grav. **1990**. V. 7. P. 189.
19. Barrow J.D., Tipler F.J. The Anthropic Cosmological Principle. — Oxford: Oxford Univ. Press, **1986**.
20. Розенталь И.Л./УФН. **1980**. Т. 131. С. 239.
- [21] Сахаров А.Д. Письмо президенту АН СССР академику А.П. Александрову. Октябрь 1984 г./[14]. — С. 227; Знамя. **1990**. № 2. (публикация В.Л. Гинзбурга).
22. Fradkin E.S., Tseytlin A.A./Phys. Rep. **1985**. V. 119. P. 233.
23. Altshuler B.L./Phys. Rev. Ser. D. **1987**. V. 35. P. 3804.

СПИСОК ТРУДОВ АД. САХАРОВА

*(научные труды, научно-популярные работы,
некоторые статьи и выступления по энергетике и экологии;
звездочкой помечены работы, перепечатанные в этом номере "УФН")*

1946

- [1] Об электрическом пробое в ионном кристалле//Рефераты научно-исследовательских работ за 1945 г. — Отделение физико-математических наук (АН СССР). — М.; Л.: АН СССР. — С. 15.

1947

2. К теории ядерных переходов типа 0—0. — Диссертация. — Москва: ФИАН СССР. — Рукопись.
3. Генерация жесткой компоненты космических лучей//ЖЭТФ. Т. 15. С. 686 — 697.
4. Получение нейтронов малой энергии фильтрацией через графит//УФН. Т. 32, вып. 1. С. 136 — 137. — Реферат.

1948

5. Температура возбуждения в плазме газового разряда//Изв. АН СССР. Сер. физ. Т. 12, № 4. С. 372 — 375.
- 6*. Взаимодействие электрона и позитрона при рождении пар//ЖЭТФ. Т. 18, вып. 7. С. 631 — 635.
7. Пассивные мезоны. — Отчет. — Москва: ФИАН СССР. — Рукопись.
8. Влияние рассеяния на интенсивность пучка в синхротроне. — Отчет. — Москва: ФИАН СССР. — Рукопись.

1949

9. Наблюдение космического излучения с помощью фотопластинок, чувствительных к электронам//УФН. Т. 38, вып. 3. С. 452 — 454. — Реферат.

1950 — 1951

10. Отчеты о магнитном термоядерном реакторе. (Совместно с И.Е. Таммом).
- [11] Отчет. — Предложен термоядерный бридер. Работы [10, 11] доложены И.В. Курчатовым в Харуэлле в 1956 г. и опубликованы в трудах Первой Женевской конференции по мирному использованию ядерной энергии.

1957

- 12*. О реакциях, вызываемых μ -мезонами в водороде. (Совместно с Я.Б. Зельдовичем)//ЖЭТФ. Т. 32, вып. 4. С. 947 — 949.

1958

- 13*. Теория магнитного термоядерного реактора (часть II)//Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций. Т. 1. — М.: Изд-во АН СССР. — С. 20 — 30.
14. Радиоактивный углерод ядерных взрывов и непороговые биологические эффекты//АЭ. Т. 4, вып. 6. С. 576 — 580; также://Советские ученые об опасности испытаний ядерного оружия. — М.: Атомиздат, 1959. — С. 36 — 44.
15. О радиационной опасности ядерных испытаний//Советский Союз сегодня. — На англ., нем., франц., испан. и япон. языках.

1960

16. Radioactive carbon in nuclear explosions and nonthreshold biological effects//Soviet Scientists on the Danger of Nuclear Tests/Under the editorship of A.V. Lebedinsky, Corresponding Member of the USSR Academy of Medical Sciences. — M.: Foreign Languages Publishing House. — Pp. 39 — 49.
17. Возможность осуществления управляемой термоядерной реакции с помощью лазера. — Доклад (не опубликовано).

1964

18. Экспериментальное исследование устойчивости ударных волн и механических свойств вещества при высоких давлениях и температурах. (Совместно с Р.М. Зайдель, В.Н. Минеевым и Л.Г. Олейник)//ДАН СССР. Т. 159, № 5. С. 1019 — 1022.

1965

- 19*. Магнитная кумуляция. (Совместно с Р.З. Людаевым, Е.Н. Смирновым, Ю.И. Плющевым, А.И. Павловским, В.К. Чернышевым, Е.А. Феоктистовой, Е.И. Жариновым, Ю.А. Зысиным)//ДАН СССР. Т. 165, № 1. С. 65 — 68.
20. Начальная стадия расширения Вселенной и возникновение неоднородности распределения вещества//ЖЭТФ. Т. 49, вып. 1. С. 345 — 358.

1966

- [21] Взрывомагнитные генераторы//УФН. Т. 88, вып. 4. С. 725 — 734.
22. Кварковая структура и массы сильно-взаимодействующих частиц. (Совместно с Я.Б. Зельдовичем)//ЯФ. Т. 4, вып. 2. С. 395 — 406.
23. О максимальной температуре теплового излучения//Письма ЖЭТФ. Т. 3, вып. 11. С. 439.

24. Самая высокая температура//Природа. № 11. С. 108.
25. Рекорды магнитных полей//Известия. 29 апреля, № 102.

1967

- 26*. Нарушение СР-инвариантности. С-асимметрия и барионная асимметрия Вселенной//Письма ЖЭТФ. Т. 5, вып. 1. С. 32 — 35.
27. Кварк-мюонные токи и нарушение СР-инвариантности//Ibidem. С. 36 — 39.
28*. Теория магнитного термоядерного реактора//УФН. Т. 93, вып. 3. С. 564 — 571. — (Перепечатка статьи [13]).
29. Вакуумные квантовые флуктуации в искривленном пространстве и теория гравитации. — Препринт. — Москва: ИПМ АН СССР.
30*. Вакуумные квантовые флуктуации в искривленном пространстве и теория гравитации//ДАН СССР. Т. 177, № 1. С. 70 — 71.
[31] Симметрия Вселенной//Научная мысль (Вести. АПН). Вып. 1. С. 13 — 31.

1968

32. Симметрия Вселенной//Будущее науки. — Международный Ежегодник/Под ред. В.А. Кириллина. Вып. 2. — М.: Знание. — С. 74 — 96.
33. Предисловие//Карцев Вл. Трактат о притяжении, или история Геркулесова камня магнита от Синдбада-Морехода до термоядерных электростанций, содержащая любопытные факты, разъяснения, рассуждения и многочисленные иллюстрации. — М.: Сов. Россия. — С. III — IV.
34. Существует ли элементарная длина?//Физика в школе. № 2. С. 6 — 15.
35. Наука будущего//Будущее науки/Под ред. В.А. Кириллина. (Сборник в продажу не поступал). — Футурологическая статья.

1969

36. Антикварки во Вселенной//Проблемы теоретической физики. — Сборник, посвященный Н.Н. Боголюбову в связи с его 60-летием. — М.: Наука. — С. 35 — 44.

1970

37. Многолистная модель Вселенной//Новиков И.Д., Сахаров А.Д. Релятивистский коллапс и топологическая структура Вселенной. — Препринт № 7. — Москва: ИПМ АН СССР. — С. 17 — 28.
38. Доклад в ФИАНе по теме "Теория нулевого лагранжиана гравитационного поля". — Рукопись.

1972

39. Топологическая структура элементарных зарядов и СРТ-симметрия//Проблемы теоретической физики. — Сборник, посвященный И.Е. Тамму. — М.: Наука. — С. 242 — 247.
40. Анкета СЕТИ//Земля и Вселенная. № 4. С. 61.

1974

- [41] О скалярно-тензорной теории гравитации//Письма ЖЭТФ. Т. 20, вып. 3. С. 189 — 191.
42. Мир через полвека//Saturday Rev.; Тревога и надежда. — М: Интер-версо 1990. — С. 73 — 85.

1975

- 43*. Спектральная плотность собственных значений волнового уравнения и поляризация вакуума//ТМФ. Т. 23, № 2. С. 178 — 190.
44. Массовая формула для мезонов и барионов с учетом шарма//Письма ЖЭТФ. Т. 21, вып. 9. С. 554 — 557.

1978

45. Ядерная энергетика и свобода Запада. — Нью-Йорк: Хроника-пресс, 1977; Bull. Atomic Sci. June 1976. Pp. 12 — 14; Тревога и надежда. — М.: Интер-версо, 1990. — С. 168 — 172.

1979

46. Барионная асимметрия Вселенной//ЖЭТФ. Т. 76, вып. 4. С. 1172 — 1181.
47. Рецензия на книгу Ф. Дайсона "Тревожа Вселенную" (Dyson F. Disturbing the Universe. — Harper and Row)//Washington Post. September 23.

1980

- 48. Массовая формула для мезонов и барионов//ЖЭТФ. Т. 78. Вып. 6. С. 2112.— 2115.
- 49. Оценка постоянной взаимодействия кварков с глюонным полем//Ibidem. Т. 79, вып. 2(8). С. 350 — 353.
- 50*. Космологические модели Вселенной с поворотом стрелы времени//Ibidem. Вып. 3(9). С. 689 — 693.

1982

- [51]* Многолистные модели Вселенной//ЖЭТФ. Т. 83, вып. 4(10). С. 1233 — 1240.

1984

- 52*. Космологические переходы с изменением сигнатуры метрики//ЖЭТФ. Т. 87, вып. 2(8). С. 375 — 383.

1986

- 53*. Испарение черных мини-дыр и физика высоких энергий//Письма ЖЭТФ. Т. 44, вып. 6. С. 295 — 298.

1988

- 54*. Барионная асимметрия Вселенной. — Обзорный доклад на конференции, посвященной 100-летию А.А. Фридмана. Ленинград, 22 — 26 июня 1988 г.; на англ.: Baryon asymmetry of the Univers//Proceedings of the Friedmann Centenary Conference. Leningrad, June 22 — 26, 1988//Eds. M.A. Markov, V.A. Berezin, V.F. Mukhanov. — Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: World Scientific, 1989. — Pp. 65 — 80.
- 55. Послесловие. (К статье Я.Б. Зельдовича "Возможно ли образование Вселенной из ничего?")//Природа. № 4. С. 26.
- 56. Мы не вправе держать людей в страхе//Ленинская смена, Горький. 30 октября, № 211.
- 57. Выступление на Общем собрании АН СССР по экологии. 28 декабря 1988 г.//Вестн. АН СССР. 1989. № 5. С. 116.

1989

- 58. Космомикрофизика — междисциплинарная проблема//Ibidem. № 4. С. 39.