

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

Группа Тамма – Сахарова в работе над первой водородной бомбой

В.И. Ритус

Обзор представляет собой расширенную версию доклада на заседании Отделения физических наук, Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления и Координационного совета по техническим наукам РАН, посвящённом 60-летию со дня испытания первой водородной бомбы. Излагаются предложенные А.Д. Сахаровым и В.Л. Гинзбургом важнейшие физические идеи, лежащие в основе нашей первой водородной бомбы РДС-6с, и многочисленные конкретные физические задачи и трудности, которые необходимо было решить и преодолеть при создании термоядерного оружия. Подчёркивается понимание руководством страны и её Атомного проекта исключительной роли фундаментальной науки в появлении и реализации конкретных идей и предложений учёных.

PACS numbers: 01.65. + g, 28.70. + y, 89.20.Dd

DOI: 10.3367/UFNr.0184.201409f.0975

Содержание

1. Организация специальной группы Тамма (975).
2. Ядерные реакции и физические идеи Сахарова и Гинзбурга (975).
3. Пути повышения концентрации дейтерия и скорости термоядерных реакций (977).
4. Эффективные сечения важнейших ядерных реакций (977).
5. Совещание по проблеме дейтеридов лития-6 (978).
6. Проблемы перемешивания слоёв, уравнения состояния и кумулятивного обжаривания "слойки" (979).
7. Постановка задачи о действии многослойного заряда для групп Ландау и Тихонова (979).
8. Беседы с И.В. Курчатовым (981).
9. Экскурсия на третий завод и подготовка к испытанию РДС-6с (981).
10. Ионизационное обжаривание как ступень к радиационному обжариванию (982).

Список литературы (983).

1. Организация специальной группы Тамма

В 1948 г. в Физическом институте АН СССР была создана возглавляемая И.Е. Таммом группа теоретиков, которой специальным постановлением правительства было поручено включиться в исследование термоядерной детонации дейтерий-третиевой плазмы — основного процесса в проектируемой водородной бомбе-"трубе". Такое исследование велось Я.Б. Зельдовичем в Институте химической физики вместе с А.С. Компанейцем и С.П. Дьяко-

вым и в КБ-11 — с Д.А. Франк-Каменецким, Г.М. Гандельманом и Н.А. Дмитриевым.

В группу И.Е. Тамма вошли А.Д. Сахаров, В.Л. Гинзбург, С.З. Беленький и Ю.А. Романов. Вскоре у А.Д. Сахарова и В.Л. Гинзбурга появились собственные оригинальные идеи по созданию водородной бомбы-"слойки", состоящей из сферических слоёв твёрдого дейтеридов лития-6 и урана-238, разогреваемых и ионизационно сжимаемых взрывом атомной бомбы в центре.

После года чисто теоретической работы группы в ФИАНе потребовалось переместить некоторых её членов в КБ-11. "Это необходимо для успешной разработки темы", как сказал в беседе с И.Е. Таммом и А.Д. Сахаровым Б.Л. Ванников — начальник Первого главного управления — могущественной организации, руководившей Атомным проектом СССР.

Хотя никому не хотелось целиком погружаться в лоно секретной физики, в марте 1950 г. Сахаров, Романов и чуть позже Тамм приехали на постоянную работу в КБ-11. Я появился в этой группе в мае 1951 г. после окончания физфака МГУ и неожиданного "откомандирования" из аспирантуры. Это был крутой поворот и в моей судьбе.

Работа над РДС-6с шла полным ходом. В группе И.Е. Тамма в 1951–1953 гг. появились Ю.Н. Бабаев, Г.А. Гончаров, В.Г. Заграфов, Б.Н. Козлов, М.П. Шумаев. Использовалась ядерная физика среды при очень высокой температуре.

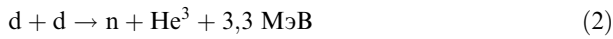
2. Ядерные реакции и физические идеи Сахарова и Гинзбурга

Создание водородной бомбы предполагает, прежде всего, использование ядерной энергии тяжёлого изотопа водорода — дейтерия. При разогреве дейтерия взрывом атомной бомбы до очень высокой темпера-

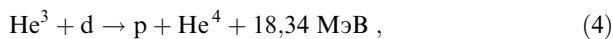
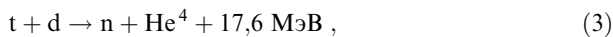
В.И. Ритус. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
Ленинский просп. 53, 119991 Москва, Российская Федерация
Тел. (499) 132-64-26. Факс (499) 135-85-33
E-mail: ritus@lpi.ru

Статья поступила 4 февраля 2014 г.

туры порядка 10 кэВ (1 эВ = $1,16 \times 10^4$ градусов Кельвина, умноженных на постоянную Больцмана $k = 1,38 \times 10^{-16}$ эрг град⁻¹) между ядрами дейтерия — дейтонами — происходят термоядерные реакции



с выделением энергии (4 МэВ и 3,3 МэВ) в виде кинетической энергии продуктов реакции. В результате энергия, выделяемая при сгорании 1 кг дейтерия, оказывается равной энергии, выделяемой при сгорании 1,3 кг плутония или U^{235} . Образующиеся в этих реакциях ядра трития — тритоны t и ядра гелия He^3 вступают в термоядерные реакции



идущие с заметно бóльшим энерговыделением. Это объясняется очень сильной связью нуклонов ($2p + 2n$) в ядре He^4 — основного изотопа гелия. Учёт вторичных реакций приводит к тому, что общее энерговыделение при сгорании 1 кг дейтерия увеличивается в 4 раза.

Теоретически реакции (3), (4) очень интересны тем, что эффективное сечение первой из них при энергии сталкивающихся частиц порядка 100 кэВ обладает резонансным поведением, обязанным возбуждению уровня составного ядра He^5 с энергией, превышающей массу $n + \text{He}^4$ на 17,7 МэВ, а сечение второй реакции аналогично ведёт себя при энергии сталкивающихся частиц порядка 260 кэВ благодаря возбуждению уровня составного ядра Li^5 с энергией, превышающей массу $p + \text{He}^4$ на 18,6 МэВ. Благодаря большой ширине резонансных уровней ядер He^5 и Li^5 сечения реакций (3), (4) существенно увеличиваются и в области малых энергий (~ 10 кэВ) сталкивающихся частиц. В результате сечение dt -реакции превосходит сечение dd -реакции более чем в 100 раз. Сечение He^3d -реакции увеличивается слабее из-за более сильного кулоновского отталкивания дейтона от двукратно заряженного He^3 .

Общность свойств реакций (3), (4), как и реакций (1), (2), обязана *зеркальной симметрии* участвующих ядер, т.е. симметрии относительно замены в них $n \rightleftharpoons p$. Вследствие изотопической инвариантности ядерных сил массы зеркальных ядер отличаются друг от друга в основном за счёт кулоновской энергии отталкивания протонов и разности масс нейтрона и протона. Кварковая структура нейтрона и протона объясняет отношение их магнитных моментов $\mu_n/\mu_p \approx -2/3$.

Работая в КБ-11, И.Е. Тамм, несмотря на загруженность заседаниями, обсуждениями текущих и планируемых работ, написанием отчётов начальству (Ю.Б. Харитону, И.В. Курчатову, А.П. Завенягину, Б.Л. Ванникову, Л.П. Берия), заинтересовался важной dt -реакцией. Для объяснения экспериментального сечения [1] Игорь Евгеньевич учёл не только проникаемость кулоновского барьера, но и упомянутый выше резонансный уровень составного ядра He^5 , описав его с помощью формулы Брейта–Вигнера. При этом ему пришлось ввести зависимость ширины резонансного уровня от энергии сталкивающихся частиц. Аналогичной обработке И.Е. подверг и сечение другой очень важной реакции $\text{Li}^6 + n = \text{He}^4 + t$, о которой пойдёт речь ниже. Он часто про-

износил фамилии Башкин и Пешкин — американских авторов работ [2] и [3], относящихся к этой реакции. Я не знаю, сохранились ли в КБ-11 соответствующие отчёты И.Е. Сделанные в КБ-11 фундаментальные работы И.Е. Тамма и А.Д. Сахарова по теории магнитного термоядерного реактора напечатаны в [4] и [5].

Теоретикам, работающим с экспериментальными сечениями термоядерных реакций, наиболее важно знать скорость термоядерной реакции, т.е. число реакций, происходящих в 1 секунду в 1 см³ нагретой до температуры T смеси сталкивающихся частиц. Эта скорость даётся формулой

$$\langle \sigma(v)v \rangle n_1 n_2 , \quad (5)$$

в которой $\sigma(v)$ — сечение реакции, зависящее от относительной скорости v сталкивающихся частиц, а n_1, n_2 — концентрации этих частиц. Угловые скобки обозначают усреднение величины в скобках по тепловому (максвелловскому) распределению относительных скоростей, т.е.

$$\langle \sigma(v)v \rangle = \int d^3v \left(\frac{\mu}{2\pi T} \right)^{3/2} \exp \left(-\frac{\mu v^2}{2T} \right) \sigma(v)v , \quad (6)$$

а $\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$ — приведённая масса сталкивающихся частиц.

Так как сечение $\sigma(v)$ содержит экспоненциальный гамовский фактор

$$\sigma(v) \sim \exp \left(-\frac{2\pi e^2}{\hbar v} \right) , \quad \text{в общем случае } e^2 = e_1 e_2 , \quad (7)$$

существенно уменьшающий сечение при малых скоростях сталкивающихся зарядов одного знака, а максвелловское распределение экспоненциально спадает при больших скоростях, то интеграл (6) по существу вычисляется методом перевала и оказывается пропорциональным экспоненциальной функции с показателем, определяемым кубическим корнем обратной температуры:

$$\langle \sigma(v)v \rangle \sim \exp \left[-3 \left(\frac{\pi^2 e^4 \mu}{2\hbar^2 T} \right)^{1/3} \right] . \quad (8)$$

Для dd -реакций и температуры в 10 и 20 кэВ значения показателя равны $-8,73$ и $-6,93$. Такое повышение температуры увеличивало бы скорость dd -реакций в 6 раз. Однако сделать это очень сложно. Поэтому для повышения скорости термоядерных реакций стремятся повысить плотность термоядерного топлива, т.е. произведение концентраций $n_1 n_2$.

Казалось бы, для запуска термоядерных реакций (1), (2) нужно заложить слой дейтерия в обычную атомную бомбу между делящимся веществом (полым шаром из U^{235} или Pu^{239}) и окружающей его обычной взрывчаткой, кумулятивный взрыв которой переводит делящееся вещество из подкритического состояния в надкритическое. Оказалось, однако, что при этом дейтерий не успевает достаточно нагреться и сдаться и термоядерная реакция практически не идёт.

Для существенного увеличения скорости термоядерной реакции А.Д. Сахаров предложил окружить слой дейтерия в описанной выше конструкции оболочкой из обычного природного урана, который должен был замедлить разлёт и, главное, существенно повысить концентрацию дейтерия.

Действительно, при температуре, возникающей во время взрыва атомной бомбы-запала, окружающее ве-

щество оказывается практически полностью ионизованным. Согласно закону Клапейрона, давление p такого газа равно nT , где n — суммарная концентрация ядер и электронов, а T — температура в энергетических единицах. Теперь важно вспомнить, что ядро урана окружено 92 электронами, а дейтерия — всего одним. Из равенства давлений и температур на границе дейтерия и урана следует, что концентрация ядер нагретого и сжатого дейтерия равна

$$n_D = \frac{Z_U + 1}{Z_D + 1} n_U = \frac{Z_U + 1}{2A_U M} \rho_U \approx \frac{1}{5M} \rho_U \sim 2,3 \times 10^{24} \text{ см}^{-3}, \quad (9)$$

т.е. пропорциональна плотности ρ_U урана с коэффициентом, слабо зависящим от материала оболочки (Z — атомный номер вещества, A — массовое число, M — атомная единица массы, равная $1,66 \times 10^{-24}$ г).

Рост скорости dd-реакции приводит к заметному образованию трития, который тут же вступает с дейтерием в термоядерную реакцию (3) с сечением, в 100 раз превышающим сечение dd-реакции, и в 5 раз большим энерговыделением. Более того, ядра урановой оболочки охотно делятся под действием 14-МэВ-ных нейтронов, появляющихся в dt-реакции, и существенно увеличивают мощность взрыва. Именно это обстоятельство заставило выбрать в качестве оболочки уран, а не любое другое тяжёлое вещество (например, свинец).

Мощность термоядерного процесса в дейтерии можно было бы значительно повысить, если с самого начала часть дейтерия заменить тритием. Но тритий очень дорог, а вдобавок ещё и радиоактивен. Поэтому В.Л. Гинзбург предложил использовать вместо него Li^6 , который под действием нейтронов генерирует тритий в реакции



с очень большим сечением, пропорциональным обратной скорости нейтронов и резонансом в области 270 кэВ.

Действительно, термоядерный заряд с дейтеридом лития-6 (Li^6D) привёл к радикальному увеличению мощности термоядерного процесса и выделению энергии из урановой оболочки за счёт деления, в несколько раз превосходящему термоядерное энерговыделение.

Таковы "первая" и "вторая" физические идеи (по терминологии А.Д. Сахарова [6]), заложенные в первый вариант нашего термоядерного оружия. Обе идеи изложены в отчётах Сахарова и Гинзбурга (см. документы № 52 и № 59 в [7]).

3. Пути повышения концентрации дейтерия и скорости термоядерных реакций

Рассмотрим более подробно некоторые количественные характеристики обеих идей.

Если носителем дейтерия является дейтерид лития-6, то концентрация n_D ядер дейтерия будет равна концентрации $n_{\text{Li}^6\text{D}}$ молекул Li^6D . Каждая из них содержит 4 электрона и 2 ядра. Поэтому в (9) следует заменить $Z_D + 1 = 2$ на $Z_{\text{Li}^6\text{D}} + 2 = 6$, что втрое уменьшает правую часть (9). В свою очередь, концентрация холодного дейтерия n_D^0 будет определяться плотностью $\rho_{\text{Li}^6\text{D}}^0 = 0,82 \text{ г см}^{-3}$ заложенного дейтерида лития-6: $n_D^0 = n_{\text{Li}^6\text{D}}^0 = \rho_{\text{Li}^6\text{D}}^0 / 8M$. Таким образом, ионизационное

обжатие увеличивает концентрацию дейтерия в 12 раз:

$$\frac{n_D}{n_D^0} \approx \frac{8\rho_U}{15\rho_{\text{Li}^6\text{D}}^0} \sim 12$$

даже без учёта повышения плотности урана.

Если носителем дейтерия является жидкий молекулярный дейтерий D_2 , то формула (9) максимальной концентрации сжатого D не изменится, а степень сжатия будет равна

$$\frac{n_D}{n_D^0} = \frac{2\rho_U}{5\rho_{\text{D}_2}^0} = 54,$$

так как $\rho_{\text{D}_2}^0 = 0,14 \text{ г см}^{-3}$.

Хотя абсолютная концентрация в этом случае будет втрое большей, чем в дейтериде лития-6, преимущества твёрдого носителя с нормальной температурой перед жидким с температурой -250°C очевидны.

После успешного испытания РДС-6с А.Д. Сахаров ради повышения втрое концентрации ионизационно сжатого дейтерия предложил использовать вместо Li^6D газообразный молекулярный дейтерий D_2 , сжатый до 150 атмосфер. Для него справедливо всё сказанное про жидкий D_2 , кроме плотности предварительно сжатого газа D_2 , равной $\rho_{\text{D}_2}^0 = 0,027 \text{ г см}^{-3}$.

В слое газообразного дейтерия предполагалось поместить мелкие кусочки или тонкие пластинки из лития-6, чтобы при облучении нейтронами при взрыве запала получать тритий. Ядра трития благодаря большому пробегу будут вылетать из тонких кусков лития-6 и, попадая в атмосферу нагретого дейтерия, будут вступать с ним в термоядерную реакцию (см. документ № 40 в [8]).

Я так подробно останавливаюсь на этом варианте "изделия" потому, что именно он под именем РДС-6СД был одобрен Советом Министров для разработки и испытания в 1954 г. Другое постановление, как пишет А.Д. Сахаров [6], "обязывало ракетчиков разработать под этот заряд межконтинентальную баллистическую ракету. Существенно, что вес заряда, а следовательно, и весь масштаб ракеты был принят на основе моей докладной записки. Это предопределило работу всей огромной конструкторско-производственной организации на многие годы. Именно эта ракета вывела на орбиту первый искусственный спутник Земли в 1957 году и космический корабль с Юрием Гагариным на борту в 1961 году".

Однако, как показали подробные расчёты, проведённые в Москве по заданиям Сахарова, энерговыделения нескольких вариантов РДС-6СД оказались ниже ожидаемых. "Экзотическое" изделие не оправдало надежд и после многочисленных и драматических обсуждений с высоким начальством (В.А. Малышев, Б.Л. Ванников, А.П. Завенягин, И.В. Курчатov) было оставлено.

Вместе с тем, с весны 1954 г. в теоретических отделах Сахарова и Зельдовича стала обсуждаться новая — "третья" идея принципиального характера, идея обжатия термоядерного топлива *излучением* атомной бомбы. Эта тема, однако, выходит за рамки моего обзора.

4. Эффективные сечения важнейших ядерных реакций

В настоящее время известно, что в присланном К. Фуком материале 713а (см. документ № 31 в [7]) содержались не только подробнейшие сведения о водородной бомбе,

получившей у нас название "труба", но и сечения важнейших термоядерных реакций (1)–(4). В начале мая 1949 г. данные о сечении dt-реакции без ссылки на источники были переданы И.Е. Тамму и А.Д. Сахарову, а также А.С. Компанейцу, входившему в группу Я.Б. Зельдовича.

Любопытно, что тогда же эти сечения были опубликованы в *Physical Review* [1]. Сечения dd- и dHe³-реакций были опубликованы в том же журнале раньше — в 1947–1948 гг.

В то же время измерения сечений термоядерных реакций и других ядерных характеристик велись и в ряде наших лабораторий. Наиболее полные исследования скорости dt-реакции проводились в лаборатории И.М. Франка (ФИАН) группой И.Я. Барита (Е.М. Балабанов, Л.Н. Кацауров, В.А. Нефёдов, И.В. Штрах). Полученные этой группой результаты существенно уточнили данные Бретчера и Френча [1], убедительно подтверждая 100-кратное превосходство скорости dt-реакции над скоростью dd-реакций.

Сечения деления U²³⁸ 14-МэВ-ными нейтронами dt-реакции и число образующихся при этом вторичных нейтронов измерялись в ФИАНе, Институте химической физики, Лаборатории измерительных приборов, Гидротехнической лаборатории и КБ-11. Величина сечения и число вторичных нейтронов оказались существенно большими, чем в цепной реакции.

Взаимодействие нейтронов с Li⁶ изучалось в Украинском физико-техническом институте и Институте физических проблем. Сечение реакции (10) было существенно уточнено по сравнению с работой [9], как и положение резонанса, переместившегося в область энергии нейтронов 250 кэВ.

Полученные в наших и иностранных лабораториях экспериментальные данные собирались всеми сотрудниками группы Тамма–Сахарова, анализировались и сводились в таблицу ядерных постоянных, необходимых для расчётов энерговыделения РДС-6с.

В связи с этим Романову и мне приходилось часто бывать в лаборатории Ю.А. Зыбина, обсуждать с ним и его сотрудниками проведение ядерно-физических исследований, начиная с измерения элементарных и эффективных констант и кончая интегральными измерениями на модели "слойки". Эта группа — Г.П. Антропов, П.П. Лебедев, А.А. Лбов, А.И. Павловский, В.Н. Польшов, О.К. Сурский, Ю.С. Клинец — добилась замечательных результатов, в частности, благодаря ускорительной трубке А.И. Павловского с рекордным для того времени выходом 14 МэВ-ных нейтронов в 5×10^{10} нейтронов в секунду.

Были измерены сечения деления U²³⁵, U²³⁸, Pu²³⁹ нейтронами с энергиями, характерными для спектра деления, и с энергиями 2,5 и 14 МэВ; среднее число вторичных нейтронов при делении 14-МэВ-ными нейтронами; эффективное сечение увода быстрых нейтронов под порог деления U²³⁸.

Для 15 элементов были измерены сечения (n, 2n) реакций и другие характеристики. Наконец, исследованы реакции на лёгких ядрах и определено сечение увода.

Осенью 1951 г. Романов и я посетили Гидротехническую лабораторию (ныне — Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ), Дубна), где руководимая В.А. Давиденко и М.Г. Мещеряковым группа

И.С. Погребова, А.И. Саукова, В.С. Сиксина, Ю.Ф. Туртурова измеряла сечения dd- и dt-реакций и "коэффициент использования" 14 МэВ-ных нейтронов в плоской модели "слойки". Полученные ими результаты мы отправили в наш Теоретический отдел, после чего Михаил Григорьевич Мещеряков — директор Лаборатории в то время — провёл нас по длинному туннелю на 250-МэВ-ный ускоритель протонов.

Это могучее сооружение весом 7 тысяч тонн производило незабываемое впечатление. Построенный по предложению С.И. Вавилова, И.В. Курчатова, А.И. Алиханова, Д.В. Скобельцына и Л.А. Арцимовича синхротрон может служить памятником мудрости руководителей наших физических институтов. Поражаешься мудрости и дальновидности руководителей страны, буквально через год после окончания войны принявших решение о строительстве этого ускорителя на ленинградском заводе "Электросила", организации его доставки водным путём в район Ивановской ГЭС и строительстве здесь будущего центра фундаментальной ядерной физики и физики элементарных частиц.

Во время экскурсии Ю.А. Романов таинственно сообщил мне, что на ускорителе работает бежавший из Канады сотрудник Э. Ферми Б. Понтекорво.

Примерно в это же время Романов предложил послать О.Д. Казачковскому в Лабораторию В (Обнинск) наш отчёт о пробеге нейтронов различных энергий в дейтериде лития с различной концентрацией лития-6. Лаборатория занималась разработкой ядерных реакторов с обогащённым ураном. Ныне это Физико-энергетический институт. Много лет спустя мы с женой познакомились с Т.С. и О.Д. Казачковскими, и сразу же ими была упомянута "формула Романова–Ритуса". Она оказалась полезной. Отдел Казачковского занимался изучением взаимодействия нейтронов с веществом и важными проблемами реакторов на быстрых нейтронах, которые выгоднее тепловых реакторов для производства плутония-239.

5. Совещание по проблеме дейтериде лития-6

Работая с Романовым, мы вместе написали примерно 10 отчётов. Будучи всего лишь на год старше меня, он имел, однако, трёхлетний опыт работы в группе Тамма–Сахарова и охотно делился своими знаниями и научными методами как со мной, так и с другими членами группы. Я ему очень признателен за это.

Основным нашим занятием было детальное исследование "второй идеи" — идеи использования Li⁶D. Мы смотрели, как повысится энерговыделение, если некоторое количество дейтерия заменить тритием, поскольку сечение dt-реакции в 100 раз больше сечения dd-реакции. Или что произойдёт, если естественный Li, содержащий 7,3 % Li⁶, не будет полностью очищен от основного, седьмого изотопа, так что концентрация Li⁶D станет сравнима с концентрацией Li⁷D. Мы занимались соответствующими расчётами энерговыделения.

Примерно в конце 1951 г. в кабинете у Ю.Б. Харитона произошло совещание с участием И.В. Курчатова, посвящённое проблеме Li⁶D. Среди приглашённых начальников лабораторий и отделов КБ-11 мы с Юрой оказались самыми молодыми людьми. Именно здесь я впервые увидел И.В. Курчатова, который приехал со своей свитой. Тут же потихоньку стало распространяться его

прозвище Борода. Правда, его борода не произвела на меня должного впечатления — она была очень жиденькой. Однако в памяти остались его красивое, интеллигентное лицо, высокий рост и отсутствие интонаций большого начальника.

Конечно, на это совещание нас послал Андрей Дмитриевич, поскольку мы с Романовым вплотную занимались проблемой Li^6D , однако все наши результаты А.Д. сам докладывал. Зал был полон, все сидели, образуя полукруг, но пространство в центре и за креслами оставалось свободным. Курчатов один ходил по этому свободному пространству. Сначала ему докладывал Харитон, потом Сахаров. И, в частности, произошла такая сцена. Курчатов остановился за моим стулом и, облокотившись на его спинку, стал тоже о чём-то говорить. Его борода стала касаться моей тогда ещё имевшейся шевелюры. Мне казалось, что все смотрят на меня, и я не знал, куда деваться.

Конечно, эта сцена запомнилась, но запомнилось и другое. А именно, эпилог этого совещания, который был таким. Доводы, касающиеся Li^6D , были очень существенными, Курчатов их принял и сказал буквально следующее: "Ну что же, тогда я буду входить в правительство с предложением о строительстве литиевого завода". После этих слов стало ясно, что литий производился, по-видимому, в лабораторных условиях, а Li^6 если и выделялся, то в очень малых количествах. Тут же речь пошла о заводе, который будет заниматься не только производством самого лития, но и выделением его шестого изотопа. Короче говоря, я вышел с этого совещания, и, наверное, Романов тоже, с чувством, что мы причастны к большому государственному делу.

Как следует из документов Атомного проекта СССР, производство лития-6 проектировалось значительно раньше совещания у Харитона, но постановление Совета Министров, о котором на совещании говорил Курчатов, было подписано Сталиным 19 января 1952 г. (см. документ № 173 в [7]). Разработкой двух промышленных методов разделения изотопов лития, электромагнитного и электролитического, занимались Л.А. Арцимович и Б.П. Константинов.

6. Проблемы перемешивания слоёв, уравнения состояния и кумулятивного обжатия "слойки"

При взрыве термоядерного заряда из-за больших ускорений границы тяжёлого и лёгкого слоёв становятся неустойчивыми. Это может приводить к перемешиванию слоёв и уменьшению скорости термоядерной реакции, если время неустойчивости мало или сравнимо с временем разлёта.

В 1949–1950 гг. С.З. Беленький, не без консультаций с Л.Д. Ландау, исследовал турбулентное перемешивание и развил метод его расчёта, используя экспериментальные данные, полученные в КБ-11 и ЛИПАНе. В 1952 г. Е.С. Фрадкин (ФИАН) рассмотрел три способа возможного уменьшения перемешивания.

При температурах среды порядка 10 кэВ разумно использовать уравнение состояния

$$p = a\rho T + bT^4, \quad (11)$$

в котором 1-й член — давление идеального полностью ионизованного газа, а 2-й — давление излучения.

В 1950 г. Е.С. Фрадкин учёл неполную ионизацию атомов урана, используя для них модель Томаса–Ферми. Этот учёт практически не изменил *давления* в уране при тех же температуре и плотности, но повлиял на соотношение материальной и световой *энергий*. Материальная энергия увеличилась в два раза по сравнению с её величиной в модели идеального газа. Это увеличило полную энергию на 25 % на стадии зажигания и на 10 % на стадии горения термоядерного топлива. Мне кажется, что в 1955–1956 гг. Фрадкин продолжил исследование уравнения состояния.

Необходимо сказать о деятельности Е.И. Забабахина и его сотрудников, занимавшихся проблемой обжатия "слойки" кумулятивным взрывом ВВ. Когда я впервые вошёл в его кабинет, то увидел на чертёжной доске-кульмане большой лист ватмана с ячеистой схемой линз кумулятивного обжатия. Меня удивило то, что Евгений Иванович сам, а не конструкторы КБ, работавшие в совсем другом здании, чертит эту схему в масштабе 1:1, проводя расчёты на логарифмической линейке метровой длины. Ещё более поразили меня его слова, что подобную схему он впервые увидел готовой ещё в 1948 г., когда по приглашению Я.Б. Зельдовича начал работать в КБ-11. Мне показалось, что я услышал лишнее. Но рядом стояли его сотрудники — Н.А. Попов и В.П. Фёдоровитов. Позже я понял, что, будучи честным и порядочным человеком, Е.И. не мог скрывать от своих молодых коллег, что не он автор исходной схемы.

Однако теперь подобную схему обжатия нужно было применить к термоядерному заряду, содержащему несколько сферических слоёв лёгкого дейтерида лития и тяжёлого U^{238} на пути от линз ВВ к обжимаемому плутониевому заряду. Для этого Е.И. не только рассчитал необходимую мощность линз, но и отделил внешнюю урановую оболочку от внутренней пустым зазором, чтобы сферическая сходящаяся детонационная волна ВВ сумела сообщить внешней оболочке наибольшую кинетическую энергию на пути к внутренней. Таким образом, внешняя оболочка и зазор выполняют роли снаряда и ствола в этой кумулятивной пушке. При ударе внешней оболочки по внутренней образующаяся ударная волна сжимает внутренние тяжёлые и лёгкие слои и переводит плутониевый заряд в надкритическое состояние.

В начале 1955 г. я использовал близкие соображения в своём предложении двойного обжатия основного термоядерного заряда *излучением* атомной бомбы и маленького термоядерного заряда (см. документ № 140 в [8]). Последовательное включение двух источников излучения усилило, продлило и симметризовало обжатие.

Как следует из интересной статьи Л.В. Альтшулера [10], для атомной бомбы схема обжатия центрального плутониевого ядра ударом по нему сходящейся сферической плутониевой оболочкой теоретически разрабатывалась Е.И. Забабахиним, а экспериментально — Л.В. Альтшулером, К.К. Крупниковым, Б.Н. Леденёвым и С.Б. Кормером начиная с 1948 г.

7. Постановка задачи о действии многослойного заряда для групп Ландау и Тихонова

Не прошло и года моего участия в работе, как настало время составления основного математического задания для детального расчёта физических процессов и энерго-

выделения "слойки", требующего численного решения системы уравнений в частных производных.

Андрей Дмитриевич в моей рабочей тетради написал план задания, а меня попросил проверить его, дополнить необходимыми подробностями, предусмотреть возможные варианты начальных данных, привести таблицу сечения dt -реакции и других реакций. Я занимался этим делом в течение нескольких дней. После прочтения А.Д. и учёта сделанных им замечаний я переписал задание своей авторучкой с зеленовато-синими чернилами на специально выданный мне большой лист в клеточку, используя обе стороны листа. Его размеры соответствовали нынешнему формату А3.

Теперь документально известно, что задание написано 5 апреля 1952 г., озаглавлено "Постановка задачи о действии МЗ" и подписано Сахаровым и мной (МЗ — это многослойный заряд) [11]. Оно было направлено сначала в группу Ландау, для которой было первым исходившим от группы Тамма, а затем переправлено в группу Тихонова.

Впервые за пределы объекта вышел документ, в котором в концентрированной форме излагались все сведения о нашей первой водородной бомбе, основанной на идеях и экспериментальных результатах наших учёных. Проведённая группой Тамма–Сахарова предварительная работа определила оптимальный вариант конструкции и состав термоядерного топлива. Основные процессы, происходящие во время взрыва, описывались системой дифференциальных уравнений в частных производных, и возможно более точное решение этих уравнений было задачей групп Ландау и Тихонова.

Через несколько дней Тамм получил от Ландау совсекретную записку следующего содержания:

"Дорогой Игорь Евгеньевич,

В присланной Вами очень поучительной записке к сожалению отсутствуют значения скоростей частиц всех групп. Просьба срочно прислать их нам.

Ваш Л. Ландау 11/IV 52."

Это явно был мой промах. В задании скорости нейтронов трёх групп фигурировали просто как v_1 , v_2 , v_3 , без указания их численных значений.

Но это был не единственный мой промах. Оказалось, что Андрей Дмитриевич, а вслед за ним и я пропустили в уравнениях член с вязкостью, которая искусственно вводилась для стабилизации численного расчёта. Когда я попросил А.Д. срочно послать исправление, он сказал: "Вы знаете, там люди опытные, они сами этот член восстановят, не беспокойтесь".

Вместе с тем Андрею Дмитриевичу не терпелось поскорее узнать промежуточные результаты, связанные с выгоранием лития-6, и он через два или три месяца послал меня в командировку в обе группы.

Ландау, которого раньше я никогда не видел, встретил меня в вестибюле Института физических проблем и провёл в кабинет директора института А.П. Александрова, который быстро подписал пропуск в помещения группы Ландау. Оставляя меня одного в пустой комнате, Ландау сказал: "Сейчас я познакомлю вас с нашими ребятами". Мне тогда было 25 лет, и я ожидал встретиться с людьми моего возраста. Минуты через 2–3 в комнату вбегают двое — один совершенно лысый, другой ещё с пушком на голове. Но раз Ландау сказал "ребята", я спокойно с ними разговариваю, объясняя цели своего приезда.

Когда кто-то из моих собеседников принёс рабочую тетрадь и развернул её, то она заняла весь стол — настолько её горизонтальные размеры были больше вертикальных. Меня поразило и даже несколько смутило то, что эта тетрадь была явно иностранного производства и, по-видимому, специально предназначалась для записи промежуточных результатов сложных численных расчётов. В то время такие расчёты выполнялись вычислительницами на электромеханических машинах типа "Мерседес" или "Рейнметалл", поставляемых из Германии. На типографски разлинованных страницах этой тетради были аккуратно написаны столбцы чисел, представлявших собой значения различных физических величин в зависимости от времени.

Я выписал интересовавшие Сахарова и меня числа на специальном листке, который через секретный отдел был отправлен к нам на объект.

Другое моё впечатление связано с тем интересом к личности Сахарова, который проявили мои собеседники (это были Е.М. Лифшиц и И.М. Халатников, иногда в комнате появлялся и снова уходил Н.Н. Мейман — все эти имена я узнал, когда уходил и требовалось подписать мой пропуск). Я понял, что они не только не были знакомы с Сахаровым, но и никогда не видели его. Поэтому я думаю, что это задание для группы Ландау было первым исходившим из группы Сахарова (и это подтверждается документами Атомного проекта СССР). До этого группа Ландау работала над заданиями группы Зельдовича, касавшимися атомной бомбы и "трубы".

Иное дело — группа Тихонова, в которую я направился на следующий день. Она работала в здании, где до переезда ФИАНа с Миусской площади была лаборатория В.И. Векслера. С этой группой Сахаров взаимодействовал уже несколько лет. И мне почти все её члены были знакомы. Тихонов читал нашему курсу лекции, Самарский вёл практические занятия и принимал у меня экзамен, Борис Рождественский был моим однокурсником. Новыми людьми были для меня только В.Я. Гольдин и Н.Н. Яненко. Но Владимир Яковлевич встретил меня так, будто я был его хорошим знакомым, и сказал: "Владимир Иванович, вы так понятно написали задание, пишите нам всегда". По-видимому, предыдущие задания писались Сахаровым и были рассчитаны на "суперменов". Я знал, что понимать А.Д. было нелегко.

Знакомясь с поведением интересовавших меня физических величин, я обратил внимание на некоторое различие в методах проведения численных расчётов в группах Ландау и Тихонова.

Например, важнейшей величиной в расчётах была скорость термоядерной реакции, в частности, dt -реакции. Как мы знаем, она определяется произведением эффективного сечения реакции и относительной скорости сталкивающихся частиц, усреднённым по максвелловскому распределению скорости (см. формулу (6)). Каждая из групп по-своему находила этот интеграл как функцию температуры. В группе Ландау его представили в виде экспоненциальной функции с показателем (8), найденным методом перевала, и предэкспоненциальным множителем — полиномом 1-й или 2-й степени от температуры, найденным интерполяцией численных значений интеграла. В группе Тихонова интеграл представили полиномом высокой степени (7-й или 8-й), коэффициенты которого были найдены интерполяцией численных значений интеграла.

Различия в реализации метода конечных разностей, который использовали обе группы, обсуждались комиссией Д.И. Блохинцева в конце января 1953 г. Она нашла, что методика расчёта, принятая в группе Тихонова, приводит к некоторым искажениям временного хода термоядерной реакции вблизи ударных волн, образующихся на границах слоёв. Это искажение, однако, оказалось несущественным для общего энерговыделения и других основных параметров — выгорания и регенерации трития, энерговыделения на один 14-МэВ-ный нейтрон.

Обе группы выполнили задание к концу декабря 1952 г. со значениями энерговыделений в 250 и 220 килотонн тротилового эквивалента.

Энерговыделение "слойки", испытанной 12 августа 1953 г., оказалось заметно большим — 400 килотонн — за счёт большего, чем в расчёте, реального сечения dt -реакции и использования трития не только в первом, как в расчёте, но и во втором лёгком слое. Это был блестящий успех группы Тамма. И.Е. и А.Д. стали Героями соцтруда, получили очень большие Сталинские премии, дачи и машины.

Я не знаю, почему А.Д. попросил именно меня участвовать в составлении этого важного задания. Возможно, хотел заинтересовать меня более высоким уровнем расчёта "изделия" и одновременно познакомить с элитой советской теоретической физики — с Ландау, Лифшицем, Халатниковым, Мейманом.

Позднее Е.М. Лифшиц был оппонентом моей докторской диссертации, а в трудные для А.Д. годы при встречах в редакции *ЖЭТФ* уводил меня в сад Института и подробно расспрашивал о нём. Такое же сочувствие к А.Д. проявлял Г.Н. Флёрв, но я встречался с ним значительно реже.

Моё участие в составлении задания позволило А.Д. избежать преждевременной оценки группой Ландау его личности и его детища — многослойного заряда. Я помню, как подробно они расспрашивали меня о нём, стараясь приписать ему "звёздный номер" по классификации Ландау. Да, определённо, они никогда не видели его и не читали документов, написанных его рукой.

О дальнейшей судьбе этого задания я узнал из "Воспоминаний" А.Д. Сахарова [6] и книги И.М. Халатникова [12]. Более точно она была рассказана мне В.Я. Гольдиным, который позднее описал её в своей статье, посвящённой А.Н. Тихонову [13].

Примерно через год после выполнения задания Б.Л. Рождественскому зачем-то понадобился оригинал задания, который должен был храниться в 1-м отделе Института прикладной математики. Его там не оказалось. К расследованию чрезвычайного происшествия подключились сотрудники КГБ. После просмотра всех бумаг выяснилось, что четыре листа, подлежащие уничтожению, остались в деле, а вместо них были уничтожены листы задания (так у Гольдина [13], нужно — лист задания, если речь действительно идёт об оригинале). Ужасным следствием этой пропажи было то, что начальник 1-го отдела Василий Сергеевич Набоков застрелился. Он был очень уважаемым в Институте, честным человеком.

8. Беседы с И.В. Курчатовым

Во второй половине 1952 года по непонятной причине Романов и я были вызваны к И.В. Курчатову. Встреча

состоялась в Лаборатории измерительных приборов (ныне — Курчатовский институт) в громадном кабинете Игоря Васильевича. Более всего меня поразило то, что Курчатов, которого я всегда считал организатором науки, здесь дал нам конкретное задание провести расчёт, оценить что-то количественно.

Запомнилось, что он называл нас "ребятами" и на "ты", что на фоне разговоров с Ю.Б. Харитоновым показалось мне невежливым.

Запомнилось также, что во время нашей беседы вошёл Л.А. Арцимович и начал тихо разговаривать с Курчатовым. Потом они вдруг открыли потайную дверь, о существовании которой мы с Романовым и не подозревали, зашли в помещение за ней и там беседовали.

Запомнился висящий на стене большой написанный маслом портрет Сталина во весь рост, в сапогах.

Как я теперь думаю, Курчатов хотел проверить достоверность каких-то данных об энерговыделении (иначе зачем он вызвал именно нас), полученных, возможно, из-за границы.

Получив задание, мы с Романовым направились в какую-то секретную комнату, принадлежащую первому отделу, и там проводили свои расчёты. Возможно, наши записи где-то сохранились.

Каково же было наше удивление, когда мы пришли к Курчатову и доложили ему свои результаты, а он остался недоволен и предложил нам приехать на следующий день, чтобы продолжить вычисления.

На следующий день мы снова считали, снова говорили с Игорем Васильевичем и в конце концов как-то удовлетворили его. Я думаю, что наши первоначальные результаты либо не совпадали с его ожиданиями, либо он хотел убедиться, что мы не сделали ошибок. Однако я уверен, что мы проверяли не его собственные идеи.

С другой стороны, если появление Арцимовича во время беседы не было случайным, то, возможно, речь шла о расчёте количества лития-6, необходимого для того или иного повышения энерговыделения "слойки" или какого-то другого, неведомого нам, "изделия". Ведь Арцимович был научным руководителем производства лития-6.

9. Экскурсия на третий завод и подготовка к испытанию РДС-6с

Огромное уважение, которым пользовались в КБ-11 руководители теоретических отделов — И.Е. Тамм, А.Д. Сахаров, Я.Б. Зельдович, — заметно распространялось и на их сотрудников. Этим можно объяснить организованную Ю.Б. Харитоновым в конце 1952 г. экскурсию теоретиков в "святая святых" — на третий завод, где проводилась сборка опытных образцов атомных бомб и должна была собираться наша "слойка".

Экскурсия началась не с парадного входа, а со двора, откуда вывозили готовую продукцию. Бросились в глаза большие ярко-жёлтые полусферы и блоки тринитротолуола — ВВ, используемого для обжаривания делящихся материалов. По мере входа в дальнейшие помещения стали попадаться лежащие на полу чёрные торпеды подводных лодок. По-видимому, в это время для них проводилась сборка атомных зарядов малой мощности. То и дело встречались одетые в чёрные кители военноморские офицеры — приёмщики продукции. Наконец, мы пришли в большой зал, где на высоком помосте

проводилась сборка нашей "слойки". Пока были установлены только контуры крепления тонких медных оболочек, разделяющих будущие слои дейтерида лития и урана. По оболочкам предполагалось отводить тепло, выделяемое радиоактивным тритием.

Экскурсия была очень поучительна для нас, теоретиков. Мы увидели конструкторскую работу людей высокой квалификации и технической культуры. Разработчиками основных узлов РДС-6с и других бомб были В.Ф. Гречишников, С.Г. Кочарянец, Н.А. Терлецкий.

В начале 1953 г. в КБ-11 началась подготовка к испытанию РДС-6с. На весьма представительном совещании физиков-теоретиков и экспериментаторов А.Д. Сахаров рассказал об основных задачах, которые предстояло решить при проведении испытания.

Прежде всего нужно было установить величину энергии взрыва, надёжность и ход термоядерной реакции. Для этой цели предполагалось измерить:

— время от момента инициирования до начала реакции в изделии;

— потоки γ -лучей и 14-МэВ-ных нейтронов, запись которых позволяет судить о ходе реакции в изделии за стомиллионные доли секунды;

— давление и скорость ударной волны;

— поток γ -квантов от радиоактивного облака.

Мне было поручено связать полное энерговыделение с полным потоком 14-МэВ-ных нейтронов, регистрируемых фторными детекторами, использующими реакцию $F^{19} + n \rightarrow 2n + F^{18}$ с порогом 11 МэВ. Несколько детекторов на разных расстояниях от центра взрыва должны были регистрировать β^+ -радиоактивность фтора-18 с полупериодом распада 112 минут.

Измерения 12 августа 1953 г. показали, что при взрыве вышло наружу $6,3 \times 10^{24}$ нейтронов, образующихся с энергией выше 11 МэВ. Это число оказалось в хорошем согласии с ожидавшимся полным числом быстрых нейтронов, образующихся в термоядерной реакции многослойного заряда мощностью 300–400 кт тротила (см. документы №№ 22, 34 в [8]). Такая связь между энерговыделением и полными числами образованных и уходящих быстрых нейтронов существенно использует важные экспериментальные данные, полученные в группах Ю.А. Зысина и И.С. Погребова.

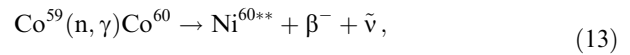
Другой моей задачей была оценка влияния перемешивания тяжёлого и лёгкого слоёв на ход термоядерных реакций по показаниям индикатора перемешивания. Индикатором перемешивания служил γ -активный Be^7 , образующийся в термоядерной реакции $Li^6 + d = n + Be^7$ и распадающийся путём K -захвата в Li^7 с периодом полураспада 53 дня. Так как 10 % распад идёт через возбуждённый уровень лития-7:



с излучением γ -кванта с энергией 478 кэВ, то регистрация выхода Be^7 после взрыва не представляла труда. Заметный выход Be^7 позволил заключить, что перемешивание несущественно тормозит ход термоядерных реакций.

Ещё одной моей задачей была оценка потока нейтронов в лёгких слоях. Индикатором потока нейтронов служил предложенный А.Д. Сахаровым стабильный Co^{59} , специально помещавшийся в лёгкие слои. Бомбардируемый во время взрыва нейтронами, он переходил в

β , γ -активный Co^{60} :



который бета-распадом (с периодом полураспада 5,3 года) переходил в никель-60 на его 2-й возбуждённый уровень. С этого уровня никель-60 почти мгновенным последовательным испусканием двух гамма-квантов с энергиями 1,17 и 1,33 МэВ переходил в основное состояние.

Неисповедимы пути Господни! Угловую корреляцию именно этих каскадных гамма-квантов я успешно (и впервые) измерил в своей дипломной работе 1949–1950 гг. в лаборатории И.М. Франка. В это же время этажом ниже руководитель моей дипломной — И.Я. Барит — измерял сечения dd - и dt -реакций.

Выход Co^{60} , регистрируемый после взрыва по его β , γ -активности, позволял судить о плотности потока нейтронов в лёгких слоях и, следовательно, о скорости образования в них трития.

По-видимому, с этим индикатором, помимо индикатора перемешивания, имел дело на полигоне мой друг и однокурсник Е.К. Бонюшкин, о чём я слишком поздно узнал из его статьи, посвящённой А.Д. Сахарову [14].

10. Ионизационное обжатие как ступень к радиационному обжатию

Переданная Фуксом в 1946 и 1948 гг. информация содержала два варианта поджигания "трубы" (см. документы № 11 и № 31 в [7]). Последний из них содержал обжатие излучением атомной бомбы промежуточного двухлитрового жидкого запала из дейтерий-тритиевой смеси. При внимательном изучении именно этот вариант мог бы стать схемой обжатия излучением значительно большего количества термоядерного горючего.

Теллер по этому поводу писал в 1952 г., что идея радиационного обжатия Теллера–Улама (1951 г.) "представляет собой сравнительно небольшую модификацию идей, известных в общем виде в 1946 г. (и использованных в схеме "Джордж" — В.Р.). В сущности, нужно было добавить только два элемента: взрывать больший объём и достигать большего сжатия путём сохранения взрывающегося материала холодным настолько долго, насколько это только возможно" [15].

Зельдович предпочёл рассматривать вариант 1946 г., который оказался неработоспособным и не содержал перспективной схемы радиационного обжатия (см. документы № 95 и № 123 в [7]).

Тем ценнее было появление в группе Тамма совершенно других, отличных от использованных в "трубе", принципов создания водородной бомбы, предложенных Сахаровым и Гинзбургом. Ионизационное обжатие ядерного топлива Li^6D и наработка трития приводили к резкому возрастанию скорости термоядерной реакции. И задание, о котором я здесь вспоминаю, фиксировало существенный прорыв, сделанный нашими специалистами в разработке термоядерного оружия. А успешное испытание 12 августа 1953 г. подтвердило правильность идей и расчётов по его созданию.

Ценнейший опыт и уверенность в понимании сложнейших процессов, протекающих при термоядерном взрыве, дали возможность нашим специалистам реали-

зовать "витающую в воздухе" и казавшуюся неосуществимой идею радиационного обжигания. Переход от ионизационного обжигания к радиационному был бы аналогичен американскому, если бы они реализовали свою схему "будильник". Но они её не реализовали и тем самым отдали нам приоритет в создании первой водородной бомбы.

Правительство оценило создание водородной бомбы как крупный успех советской науки и промышленности. Свыше 400 научных и научно-технических работников стали лауреатами Сталинской премии. За исключительные заслуги перед государством И.Е. Тамм, А.Д. Сахаров, В.А. Давиденко, Е.И. Забабахин, В.К. Боболев, Л.Д. Ландау, А.П. Александров, В.Ф. Гречишников, Б.П. Константинов, А.Н. Тихонов, П.Я. Антропов, В.С. Емельянов, Б.С. Поздняков стали Героями Социалистического Труда. А.А. Бочвар, А.П. Завенягин, Я.Б. Зельдович, Е.П. Славский — стали дважды Героями Социалистического Труда, а Б.Л. Ванников, Н.Л. Духов, И.В. Курчатов, Ю.Б. Харитон, К.И. Щёлкин — трижды Героями Социалистического Труда¹.

Эта оценка продемонстрировала важнейшую роль Академии наук СССР в создании термоядерного оружия.

Список литературы

- Bretscher E, French A P *Phys. Rev.* **75** 1154 (1949)
- Bashkin S, Richards H T *Phys. Rev.* **84** 1124 (1951)
- Peshkin M, Siegart A J F *Phys. Rev.* **87** 735 (1952)
- Тамм И Е "Теория магнитного термоядерного реактора. Ч. I, II", в сб. *Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций* Т. 1 (Отв. ред. М А Леонтович) (М.: Изд-во АН СССР, 1958); Tamm I E "Theory of the magnetic thermonuclear reactor. Pt. I, II", in *Plasma Physics and the Problem of Controlled Thermonuclear Reactions* Vol. 1 (Ed. M A Leontovich) (New York: Pergamon Press, 1961)
- Сахаров А Д "Теория магнитного термоядерного реактора. Ч. II", в сб. *Физика плазмы и проблема управляемых термоядерных реакций* Т. 1 (Отв. ред. М А Леонтович) (М.: Изд-во АН СССР, 1958); Sakharov A D, in *Plasma Physics and the Problem of Controlled Thermonuclear Reactions* Vol. 1 (Ed. M A Leontovich) (New York: Pergamon Press, 1961); Сахаров А Д *УФН* **93** 564 (1967); *УФН* **161** (5) 34 (1991); Sakharov A D *Sov. Phys. Usp.* **34** 378 (1991)
- Сахаров А *Воспоминания* Т. 1 (Ред.-сост. Е Холмогорова, Ю Шиханович) (М.: Права человека, 1996)
- Рябев Л И (Общ. ред.), Гончаров Г А (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 3 *Водородная бомба 1945–1956* Кн. 1 (М.: Наука, Физматлит, 2008)
- Рябев Л И (Общ. ред.), Гончаров Г А (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 3 *Водородная бомба 1945–1956* Кн. 2 (М.: Наука, Физматлит, 2009)
- Goldsmith H H, Ibsen H W, Feld B T *Rev. Mod. Phys.* **19** 259 (1947)
- Альтшулер Л В "Из истории создания отечественного атомного оружия", в сб. *Хочешь мира — будь сильным! Сборник материалов конференции по истории разработок первых образцов атомного оружия* (Арзамас-16: РФЯЦ–ВНИИЭФ, 1995)
- Киселев Г В *УФН* **178** 947 (2008); Kiselev G V *Phys. Usp.* **51** 911 (2008); Киселев Г В *УФН* **178** 1371 (2008), поправки и дополнения
- Халатников И М *Дау, Кентавр и другие. (Top nonsecret)* (М.: Физматлит, 2008)
- Гольдин В Я "Математическое моделирование в атомной проблеме (1948–2005 гг.)", в сб. *Академик Андрей Николаевич Тихонов (к 100-летию со дня рождения)* (Ред.-сост. Е А Григорьев) (М.: МАКС Пресс, 2006)
- Болюшкин Е К "Нарушитель задержан..." *Атом* (май) (2001)
- Teller E "Comments on Bethe's history of thermonuclear program", Records of JCAE, Record Group 128, National Archives, August 14, 1952
- Рябев Л Д (Общ. ред.), Кудинова Л И (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 1 *1938–1945* Ч. 1 (М.: Физматлит, 1998); *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 1 *1938–1945* Ч. 2 (М.: Изд-во МФТИ, 2002)
- Рябев Л Д (Общ. ред.), Гончаров Г А (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 2 *Атомная бомба 1945–1954* Кн. 1–7 (М.: Физматлит, 1999, 2000, 2002, 2003, 2005, 2006, 2007)
- Ритус В И "Если не я, то кто?" *Природа* (8) 10 (1990)
- Романов Ю А "Отец советской водородной бомбы" *Природа* (8) 20 (1990)
- Ритус В И *УФН* **182** 182 (2012); Ritus V I *Phys. Usp.* **55** 170 (2012)
- "У истоков советского атомного проекта: роль разведки. 1941–1946" *Вопросы истории естествознания и техники* (3) 97 (1992)
- Романов Ю А *УФН* **166** 195 (1996); Romanov Yu A *Phys. Usp.* **39** 179 (1996)
- Харитон Ю Б, Адамский В Б, Смирнов Ю Н *УФН* **166** 201 (1996); Khariton Yu B, Adamskii V B, Smirnov Yu N *Phys. Usp.* **39** 185 (1996)
- Гончаров Г А *УФН* **166** 1095 (1996); Goncharov G A *Phys. Usp.* **39** 1033 (1996)
- Гончаров Г А *УФН* **167** 903 (1997); Goncharov G A *Phys. Usp.* **40** 859 (1997)
- Гончаров Г А, Рябев Л Д *УФН* **171** 79 (2001); Goncharov G A, Ryabev L D *Phys. Usp.* **44** 71 (2001)
- Гончаров Г А *УФН* **171** 902 (2001); Goncharov G A *Phys. Usp.* **44** 859 (2001)
- Гончаров Г А *УФН* **175** 1243 (2005); Goncharov G A *Phys. Usp.* **48** 1187 (2005)
- Альтшулер Б Л *УФН* **182** 188 (2012); Altshuler B L *Phys. Usp.* **55** 176 (2012)
- Илькаев Р И *УФН* **181** 405 (2011); Ilkaev R I *Phys. Usp.* **54** 387 (2011)
- Илькаев Р И *УФН* **182** 195 (2012); Ilkaev R I *Phys. Usp.* **55** 183 (2012)
- Илькаев Р И *УФН* **183** 528 (2013); Ilkaev R I *Phys. Usp.* **56** 502 (2013)
- Андреев А Ф *УФН* **182** 105 (2012); Andreev A F *Phys. Usp.* **55** 96 (2012)
- Гинзбург В Л *УФН* **179** 562 (2009); Ginzburg V L *Phys. Usp.* **52** 530 (2009)

¹ В настоящее время истории Атомного проекта и его участникам посвящены многочисленные публикации. Прежде всего это важнейшие документы и материалы [7, 8, 16, 17], изданные Министерством РФ по атомной энергии и Российской академией наук, а также публикации [18–34] непосредственных участников Проекта на страницах академических журналов *Природа* и *Успехи физических наук*, отражающих важнейшие события в естествознании.

Tamm – Sakharov group in work on the first hydrogen bomb

V.I. Ritus. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Leninskii prosp. 53, 119991 Moscow, Russian Federation
Tel. +7 (499) 132 64 26. Fax +7 (499) 135 85 33. E-mail: ritus@lpi.ru

The review is an extended version of a report delivered at a session of the Department of Physical Sciences, the Department of Energetics, Mechanical Engineering, Mechanics, and Control Processes, and the Coordinate Council on Technical Sciences of the RAS devoted to the 60th anniversary of the first hydrogen bomb test. The significant physical ideas suggested by A.D. Sakharov and V.L. Ginzburg underlying our first hydrogen bomb, RDS-6s, and numerous concrete problems and difficulties which had to be solved and overcome during the design of thermonuclear weapons are presented. The understanding on the country's leaders and the Atomic Project managers of the exceptional role of fundamental science in the appearance and implementation of our scientists' concrete ideas and suggestions is emphasized.

PACS numbers: **01.65**, + **g**, **28.70**, + **y**, 89.20.Dd
Bibliography — 34 references
Uspekhi Fizicheskikh Nauk **184** (9) 975–983 (2014)

DOI: 10.3367/UFN.0184.201409f.0975
Received 4 February 2014
Physics – Uspekhi **57** (9) (2014)