

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.Л. ГИНЗБУРГА

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

В.Л. Гинзбург и Атомный проект

В.И. Ритус

Статья представляет собой расширенную версию доклада на сессии Отделения физических наук РАН, посвящённой 100-летию со дня рождения В.Л. Гинзбурга. Специальная группа И.Е. Тамма, организованная в июне 1948 г. для выяснения возможности создания водородной бомбы, проверив и подтвердив расчёты группы Я.Б. Зельдовича, выдвинула собственные предложения по конструкции водородной бомбы, состоящей, по идее А.Д. Сахарова, из атомной бомбы и окружающих её сферических слоёв урана и тяжёлой воды, которая, по идее В.Л. Гинзбурга, была заменена более калорийным и твёрдым дейтеридом лития-6. Ионизационное обжатие дейтерия ураном, разогретых взрывом атомной бомбы, существенно ускоряет ядерные реакции в дейтерии и уране и повышает общее энерговыделение. Предложения, одобренные ведущими учёными КБ-11, руководством Атомного проекта и Правительством, были реализованы в бомбе РДС-6с, успешно испытанной 12 августа 1953 г. Дейтерид лития-6 оказался удобным многофункциональным ядерным топливом. Подчёркивается понимание руководством страны и её Атомного проекта исключительной роли фундаментальной науки в появлении и реализации конкретных идей и предложений учёных.

Ключевые слова: водородная бомба, ионизационное обжатие, дейтерид лития-6

PACS numbers: 01.60. + q, 01.65. + g, 28.70. + y

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.10.038102>

Содержание

1. Организация Специальной группы Тамма для выяснения возможности создания водородной бомбы (444).
 2. Материалы, переданные К. Фуксом в 1945 и 1948 гг. и направленные в КБ-11 (445).
 3. Принципиальная задача, стоявшая перед сотрудниками группы Зельдовича (445).
 4. Основные термоядерные реакции, протекающие в водородной бомбе (445).
 5. Скорость термоядерной реакции и идеи Сахарова и Гинзбурга (446).
 6. Термоядерные реакции в "слоёнке" с литием и её калорийность (447).
 7. И.Е. Тамм о необходимых мероприятиях для реализации идей Сахарова и Гинзбурга (447).
 8. Правительственное одобрение предложений И.Е. Тамма, концентрация усилий его группы на разработке РДС-6с (448).
 9. Переезд группы Тамма – Сахарова в КБ-11 и образование группы Гинзбурга в ФИАНе (448).
 10. Завершение работ над первой водородной бомбой РДС-6с и успешное её испытание (448).
 11. "Третья идея", её воплощение в бомбе РДС-37 и результат успешного испытания (448).
- Список литературы (449).

1. Организация Специальной группы Тамма для выяснения возможности создания водородной бомбы

10 июня 1948 г. вышло Постановление Совета Министров СССР, обязывающее ряд институтов АН СССР организовать проведение научно-исследовательских работ по заданиям КБ-11 (см. документ № 121 в [1]). В отношении ФИАН Постановление гласило:

"Обязать Физический институт им. Лебедева АН СССР (г. Вавилова) организовать исследовательские работы по разработке теории горения дейтерия по заданиям Лаборатории № 2 АН СССР (гг. Харитона и Зельдовича), для чего в 2-ух недельный срок создать в институте специальную теоретическую группу работников под руководством члена-корреспондента АН СССР Тамма и доктора физико-математических наук Беленького (зам. руководителя группы) и с участием академика Фока.

Поручить гг. Ванникову, Курчатову и Первухину в месячный срок утвердить программу и сроки осуществления указанных работ.

Поручить гг. Вавилову и Харитону в месячный срок представить на утверждение Научно-технического совета Первого главного управления план экспериментальных работ по исследованию реакций трития и гелия-3 с дейтерием".

Ровно через две недели, 25 июня 1948 г., после пятничного семинара Игорь Евгеньевич Тамм пригласил в свой кабинет Семёна Захаровича Беленького и Андрея Дмитриевича Сахарова. Как пишет Андрей Дмитриевич [2]:

В.И. Ритус. Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский просп. 53, 119991 Москва, Российская Федерация
E-mail: ritus@lpi.ru

Статья поступила 7 декабря 2016 г.

"Когда все вошли, он плотно закрыл дверь и сделал ошеломившее нас сообщение. В ФИАНе по постановлению Совета Министров и ЦК КПСС создаётся исследовательская группа. Он назначен руководителем группы, мы оба — её члены. Задача группы — теоретические и расчётные работы с целью выяснения возможности создания водородной бомбы; конкретно — проверка и уточнение тех расчётов, которые ведутся в Институте химической физики в группе Зельдовича...

Через несколько дней, оправившись от шока, Семён Захарович меланхолически сказал:

— Итак, наша задача — лизать зад Зельдовича".

2. Материалы, переданные К. Фуксом в 1945 и 1948 гг. и направленные в КБ-11

Никто из них не знал тогда, что ещё 28 января 1946 г. в КБ-11 поступил материал № 462 (см. документ № 11 в [3]) с подробной информацией о сверхбомбе, сечением реакции $D + D = He^3 + n$ и схемой зажигания жидкого дейтерия в трубе потоком нейтронов от атомной бомбы, поджигающим сначала "бустер" — промежуточный слой дейтерий-тритиевой смеси, а затем, уже будучи усиленным, — чистый дейтерий в трубе.

В материале указывалось также, что некоторое количество трития, существенного для супербомбы, уже получено в Клинтонском котле в реакции $Li^6 + n = He^4 + H^3$.

Этот материал был передан советской разведке К. Фуксом 19 сентября 1945 г. [4].

Ещё более детальные материалы № 713а и № 713б (см. документы № 31 в [3] и № 342 в [5]) поступили в КБ-11 16 апреля 1948 г. Они были переданы нашей разведке К. Фуксом 13 марта 1948 г. [4] и способствовали появлению Постановления СМ от 10 июня 1948 г.

Материал 713а содержал детальную схему водородной бомбы с указанием всех геометрических и физических параметров. Её инициирующий отсек состоял из атомной бомбы и "бустера" — двухлитрового сосуда с жидкой ДТ-смесью, погружённых в отражатель из окиси бериллия. Излучение от атомной бомбы нагревало ВеО-отражатель и ДТ-смесь, а возникающая в результате их ионизации разница давлений приводила к сжатию горячей ДТ-смеси и её интенсивному зажиганию. Суммарный поток нейтронов от бомбы и ДТ-бустера выходил из инициирующего отсека в трубу с жидким дейтерием и должен был обеспечить его ядерное горение.

Материал содержал также экспериментальные сечения $d + d$ -, $d + t$ -, $d + He^3$ -реакций и полученные с их помощью максвелловские средние $\langle \sigma(v)v \rangle$ как функционалы сечений $\sigma(v)$ и функции температуры T . Каждое среднее, умноженное на произведение $n_1 n_2$ концентраций сталкивающихся частиц, определяет важнейшую величину,

$$\langle \sigma(v)v \rangle n_1 n_2, \quad (1)$$

скорость термоядерной реакции, т.е. число реакций в 1 с в 1 см³ нагретой среды.

Таким образом, группы Я.Б. Зельдовича, занимавшиеся исследованием термоядерной детонации дейтерий-тритиевой плазмы в КБ-11 (Д.А. Франк-Каменецкий, Г.М. Гандельман и Н.А. Дмитриев) и в Институте химической физики (ИХФ) в Москве (А.С. Компанец и

С.П. Дьяков), располагали материалом исключительной важности.

Однако в этом материале не было теоретического обоснования самой возможности неравновесного горения чистого дейтерия в трубе.

3. Принципиальная задача, стоявшая перед сотрудниками группы Зельдовича

В плане работ теоретического отдела ИХФ АН СССР на 1948 год фигурировала тема "Исследование ядерной энергии лёгких элементов" с целью:

"Выяснить принципиальную возможность вызвать детонационную волну в лёгком веществе: дейтерии и дейтериде лития".

Предполагалось узнать, совместимо ли распространение ядерной детонации с диффузией излучения и нейтронов и возможно ли ослабить её влияние на детонацию.

Отмечалась крайняя трудность выяснения этих вопросов при современном уровне знаний.

Предполагалось также провести расчёт реакций с участием трития и гелия-3 (см. документ № 160 в [5]).

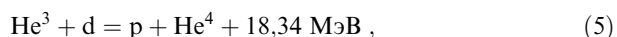
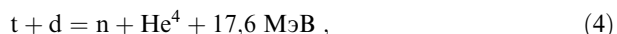
Таким образом, подключение группы И.Е. Тамма к выяснению этих трудных вопросов вполне логично. Естественно также расширение группы — в неё вошли доктор физико-математических наук В.Л. Гинзбург и аспирант Ю.А. Романов.

4. Основные термоядерные реакции, протекающие в водородной бомбе

В водородной бомбе используется ядерная энергия тяжёлого изотопа водорода — дейтерия. При разогреве дейтерия взрывом атомной бомбы до температур порядка 10 кэВ (1 эВ равен $1,16 \times 10^4$ К, умноженным 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 U²³⁵. Образующиеся в этих реакциях ядра трития — тритоны t — и ядра гелия He³ вступают в термоядерные реакции



идущие с заметно бóльшим энерговыделением. Это объясняется очень сильной связью нуклонов (2p + 2n) в ядре He⁴ — основного изотопа гелия. Учёт вторичных реакций приводит к тому, что общее энерговыделение при сгорании 1 кг дейтерия увеличивается в четыре раза.

Теоретически реакции (4), (5) интересны тем, что эффективное сечение первой из них при энергии сталкивающихся частиц порядка 100 кэВ обладает резонансным поведением, обязанным возбуждению уровня составного ядра He⁵ с энергией, превышающей массу n + He⁴ 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. Из-за большой ширины резонансных уровней ядер He^5 и Li^5 сечения реакций (4), (5) 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^3 d-реакции увеличивается слабее из-за более сильного кулоновского отталкивания дейтона от двукратно заряженного He^3 .

Общность свойств реакций (4), (5), как и реакций (2), (3), обязана *зеркальной симметрии* участвующих ядер, т.е. симметрии относительно замены в них $p \rightleftharpoons n$. 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. Зеркальные ядра, например $\text{He}^5 \rightleftharpoons \text{Li}^5$ или $\text{Li}^7 \rightleftharpoons \text{Be}^7$, обладают подобными структурами уровней.

Можно присоединиться к мнению Ферми — это хорошая физика. Правда, это было сказано им по поводу атомной бомбы и, как замечает Сахаров, не исключало попытки уйти от моральной стороны вопроса, ведь он сказал: "Во всяком случае, это хорошая физика" [2].

5. Скорость термоядерной реакции и идеи Сахарова и Гинзбурга

Сотрудники группы И.Е. Тамма, приступив к работе, не свели её к проверке работ группы Зельдовича, а двигались широким фронтом.

Так, Сахаров в своём первом отчёте С1 занялся выводом формулы для скорости термоядерной реакции, т.е. числа реакций, происходящих в 1 секунду в 1 см³ нагретой до температуры T смеси реагирующих частиц. Эта скорость даётся формулой (1), приведённой выше, где угловые скобки означают усреднение величины в скобках по тепловому, т.е. максвелловскому, распределению относительных скоростей сталкивающихся частиц,

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

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

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

$$\sigma(v) \sim \exp\left(-\frac{2\pi e_1 e_2}{\hbar v}\right), \quad (7)$$

существенно уменьшающий сечение при малых скоростях сталкивающихся зарядов e_1, e_2 одного знака, а максвелловское распределение экспоненциально спадает при больших скоростях, то интеграл (6), по существу, вычисляется методом перевала и сводится к экспоненциальной функции с показателем, определяемым кубическим корнем обратной температуры:

$$\langle \sigma(v)v \rangle \sim \exp\left[-3\left(\frac{\pi^2 e_1^2 e_2^2 \mu}{2\hbar^2 T}\right)^{1/3}\right]. \quad (8)$$

Ясно, что наибольшие скорости имеют реакции между ядрами с минимальным зарядом и минимальной

массой. Так как увеличение скорости (1) термоядерной реакции повышением температуры до значений, необходимых для детонации чистого дейтерия, было проблематичным, Сахаров в своём втором отчёте С2 предложил повысить её радикальным увеличением произведения $n_1 n_2$ концентраций реагирующих частиц (см. документ № 52 в [3]). Ещё до выхода отчёта С2 предложение Сахарова было подробно изложено И.Е. Таммом в его докладе 8 декабря 1948 г. (см. документ № 49 в [3]).

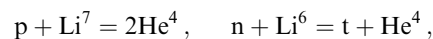
Это предложение — "1-ая идея" — состояло в использовании чередующихся сферических слоёв из урана U^{238} и термоядерного горючего, в качестве которого Сахаров выбрал тяжёлую воду D_2O . Сахаров показал, что при нагреве такой системы — "слойки" — взрывом атомной бомбы возникает ионизационное сжатие лёгких слоёв ядерного горючего тяжёлыми слоями урана. Оно существенно повышает интенсивность термоядерного горения, а поток нейтронов от реакции $d + d = \text{He}^3 + n$ и вторичной реакции $t + d = n + \text{He}^4$ приводит к интенсивному делению урана U^{238} .

В отличие от Сахарова, Гинзбург в своих отчётах Г1 и Г2 исследовал вопрос о детонации дейтерия (см. документы № 47 и № 48 в [3]). В первом из них "производится обсуждение решения, полученного группой Института химической физики. Выясняется, что детонация жидкого дейтерия заведомо не может иметь места, если электронная температура в зоне ядерной реакции намного ниже ядерной температуры. Поэтому детонация дейтерия, если она вообще возможна, должна происходить при электронной температуре, сравнимой с ядерной".

В отчёте Г2 "проводится подробный разбор характера возможного детонационного режима. Как оказывается, в дейтерии возможен лишь квазиравновесный режим, при котором электроны в хорошем приближении находятся в равновесии с излучением и в то же время электронная температура близка к ядерной. Для этого режима ширина зоны ядерной реакции достигает нескольких десятков метров".

В заключительной части этого отчёта Гинзбург обсуждает интересное и многообещающее предложение А.Д. Сахарова использовать для уменьшения ширины зоны ядерной реакции *сжать дейтерий*, возникающее при распространении ударной волны в слоистой системе — "слоике", в которой слои дейтерия чередуются со слоями урана. В этом случае жидкий дейтерий можно заменить тяжёлой водой или жидким дейтерометаном. Можно обсудить также, пишет он, "выгорание" смесей, содержащих Li^6 (с целью использования тепла реакции $\text{Li}^6 + n = t + \text{He}^4 + 4,8$ МэВ), U^{235} , Pu^{239} и т.д.

Появление здесь лития не случайно. Реакции "расщепления" изотопов лития протонами и нейтронами,



упоминаются Гинзбургом в его популярной брошюре "Атомное ядро и его энергия" [6], изданной в 1946 г.

Первая из них хорошо известна как расщепление ядра *протонами*, впервые проведённое в лаборатории Кокрофтом и Уолтоном в 1932 г.

В 1946 г. В.Л. Гинзбург упоминается в письме академика А.Н. Щукина Г.М. Маленкову по поводу регистрации взрывов атомных бомб радиолокационными методами (см. документ № 78 в [5]). После обсуждения этих вопросов с Ю.Б. Кобзаревым и Ю.Б. Харитоном Щукин заключил, что для регистрации взрывов на больших расстояниях нужны не радиолокаторы, а радиопеленгаторы, работающие на длинных волнах, и заметил, что

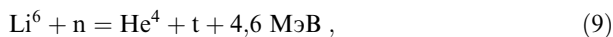
"первые ориентировочные расчёты в этом направлении проведены доктором физико-математических наук т. Гинзбургом. Изучение этого вопроса следует поручить Физическому институту Академии наук СССР".

6. Термоядерные реакции в "слоёнке" с литием и её калорийность

Дейтерид лития как твёрдое термоядерное топливо упоминается в плане работ Института химической физики. Его химические свойства подобны свойствам обычного гидрида лития LiH, который, как известно (см., например, [7]), используется для безбаллонной транспортировки водорода; в реакции с водой 1 кг LiH даёт $2,8 \text{ м}^3 \text{ H}_2$.

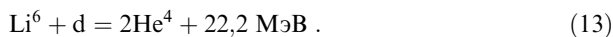
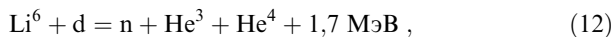
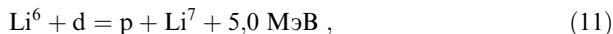
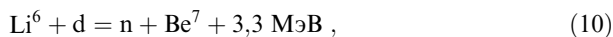
Непонятно, почему А.Д. Сахаров предложил использовать в слоёнке тяжёлую воду D_2O или жидкий тяжёлый этан C_2D_6 , а не твёрдый LiD. Возможно, он не видел плана работ ИХФ или не захотел заимствований, зная, что с группой ИХФ контактирует Гинзбург.

В.Л. Гинзбург в своём третьем отчёте "Использование Li^6D в слоёнке" подробно изложил свою идею ("2-ая идея" по терминологии Сахарова) об использовании нового термоядерного горючего (см. документ № 59 в [3]). Нового потому, что в дейтериде лития LiD основной изотоп Li^7 полностью заменён изотопом Li^6 , имеющим распространённость 7,3%. Благодаря большому потоку нейтронов и большому сечению реакции

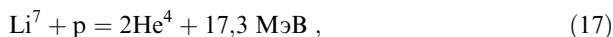
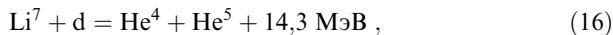
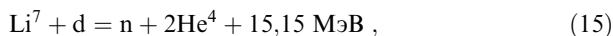


растущему как $1/v$ при $v \rightarrow 0$ с резонансом при $E_n = 0,27 \text{ МэВ}$, эта реакция становится существенным экзотермическим источником трития.

Помимо неё в "слоёнке" пойдут термоядерные реакции



Из-за неполной очистки Li^6D от основных изотопов Li^7 и H будут и термоядерные реакции



а также реакция

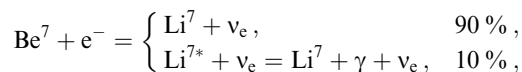


с последующим β -распадом $\text{Li}^8 \rightarrow \text{Be}^8 + e^- + \bar{\nu}_e$ и распадом $\text{Be}^8 = 2\text{He}^4 + 0,05 \text{ МэВ}$.

Обратим внимание на большие энерговыделения в этих реакциях. Однако их скорости заметно ниже скоростей dd- и dt-реакций из-за утроенного заряда лития и большей приведённой массы сталкивающихся частиц (см. (8)).

Обратим внимание на зеркальную симметрию реакций (10), (11). Однако, в отличие от стабильного Li^7 , Be^7 испытывает K-захват с периодом полураспада в 53 дня и

переходит в Li^7 . Так как 10% распадов идёт через возбуждённый уровень лития-7:



с последующим излучением γ -кванта с энергией 478 кэВ, то регистрация выхода Be^7 в течение 1–2 месяцев позволяет судить об интенсивности реакции (10) во время взрыва.

Зеркально симметричны также реакции (9), (18), идущие через зеркально-симметричные компаунд-ядра Li^7 и Be^7 с подобными структурами уровней. В частности, уровню Li^{7*} с энергией 478 кэВ отвечает уровень Be^{7*} с энергией 434 кэВ.

В следующих отчётах Гинзбурга исследуется зависимость калорийности "слоёнки" от толщины слоёв.

Вычисляется калорийность и ширина зоны в необжатой системе Li^6DU с учётом правильного сечения dt-реакции и проводятся аналогичные вычисления для D_2OU системы. Зона ударной волны порядка 20 см в обоих случаях. Отличие в полной калорийности — в четыре раза.

Подобные вычисления проводятся с учётом tt-реакции (оказавшейся несущественной), возможной роли перемешивания слоёв, диффузии нейтронов. Сделаны оценки влияния толщины слоёв на процесс замедления dt-реакции.

В течение 1948–1949 гг. группа Тамма выпустила 24 отчёта: Беленький — 4, Гинзбург — 6, Романов — 5, Сахаров — 7, Тамм — 2 (см. документ № 97 в [3]).

7. И.Е. Тамм о необходимых мероприятиях для реализации идей Сахарова и Гинзбурга

9 апреля 1949 г. И.Е. Тамм направил С.И. Вавилову свои предложения "Об использовании лёгких элементов в качестве ядерных взрывчатых веществ" (см. приложение к документу № 67 в [3]). В них он сообщил об идеях А.Д. Сахарова — сделать бомбу из перемежающихся слоёв обычного урана и тяжёлой воды, и В.Л. Гинзбурга — добавить к дейтерию лёгкий изотоп лития, и кратко изложил их физическое содержание. При распространении в "слоёнке" взрывной волны происходит сильнейшее сжатие дейтеросодержащего вещества слоями урана, существенно ускоряющее ядерную реакцию в дейтерии, а возникающие в ней быстрые нейтроны делят уран, значительно повышая общее энерговыделение.

Медленные нейтроны, поглощаясь литием-6, приводят к образованию трития и вторичным термоядерным реакциям, увеличивающим общее энерговыделение.

Далее Игорь Евгеньевич привёл оценки энерговыделения "слоёнки" в зависимости от её размера и веса и подчеркнул дешевизну её материалов по сравнению с плутонием.

В заключение Игорь Евгеньевич перечислил необходимые мероприятия, которые нужно провести, "для того чтобы можно было с уверенностью признать новую атомную бомбу реально осуществимой или, наоборот, непригодной для практических целей". К ним относятся:

— расширение теоретических исследований группы ФИАН с привлечением других теоретиков;

— проведение экспериментальных исследований ядерных реакций, происходящих в "слоёнке" и, в частности, получение некоторого количества трития;

— экспериментальные исследования устойчивости слоёв взрывчатых веществ во время взрыва;

— проведение сложных математических расчётов силами специального бюро;

— возможность проведения экспериментов при первых же взрывах атомных бомб.

Поражаешься физической интуиции Игоря Евгеньевича, его вере в правильность идей и расчётов своих сотрудников при составлении этой чётко продуманной и ясно изложенной программы на много лет вперёд. Ведь это было сделано, когда большинство отчётов группы ещё не было написано, а экспериментальные данные о сечении dt -реакции ещё не были ей представлены (это будет сделано 5 мая 1949 г., см. факсимиле документа № 71 в [3]). Журнал *Physical Review* от 15 апреля 1949 г. со статьёй Бретчера и Фрэнча, где опубликовано сечение dt -реакции [8], придёт в ФИАН позднее.

11 апреля 1949 г. С.И. Вавилов представил эти предложения Л.П. Берия, который на следующий день дал указание Б.Л. Ванникову вместе с М.Г. Первухиным, А.П. Завенягиным и Ю.Б. Харитоновым рассмотреть их и дать свои предложения.

8. Правительственное одобрение предложений И.Е. Тамма, концентрация усилий его группы на разработке РДС-6с

Возможно, благодаря Ю.Б. Харитону 21 апреля 1949 г. свои предложения о работах по сверхмощному атомному оружию дали И.В. Курчатова и М.Г. Мещеряков (см. документ № 68 в [2]). Они совпадают с предложениями И.Е. Тамма о необходимости измерения сечений реакций $H^2(d, n)He^3$, $H^2(d, p)H^3$, $H^3(d, n)He^4$ и сечений взаимодействия нейтронов с ураном, указывают лаборатории, где это можно сделать, и Харьковский ФТИ — для изготовления генератора на 2 МэВ, а также рекомендуют Базу № 10 (ныне ПО "Маяк") для производства трития облучением лития в уран-графитовом котле.

Предложения содержали также пункт: "Увязать для большей концентрации всех теоретических изысканий и расчётов работу группы тт. Тамма, Сахарова и Гинзбурга с работой КБ-11".

После обсуждения предложения Сахарова на Совете при Лаборатории № 2 Ю.Б. Харитон и Я.Б. Зельдович признали это предложение исключительно важным и интересным и согласились с тем, чтобы группа ФИАН сконцентрировалась на разработке предложения Сахарова, а работы, связанные с "трубой", продолжали разрабатываться Компанейцем и Дьяковым под руководством Зельдовича.

Руководство Первого главного управления учло все предложения учёных и вместе с ними разработало два проекта Постановлений Совета Министров СССР: "О работах по созданию водородной бомбы" и "Об организации производства трития". Л.П. Берия направил их И.В. Сталину, который в тот же день — 26 февраля 1950 г. — утвердил их.

В первом из этих постановлений, озаглавленном "О работах по созданию РДС-6", для ряда институтов и лабораторий АН СССР утверждены задания по разработке изделий РДС-6С и РДС-6Т (так были зашифрованы "слойка" и "труба"). В частности, постановление обязывало "откомандировать для работы в КБ-11 сроком на 1,5–2 года тт. Тамма И.Е., Сахарова А.Д., Беленького С.З., Романова Ю.А., Боголюбова Н.Н., Померанчука И.Я., Климова В.Н., Ширкова Д.В.", а также обязывало директора ФИАН С.И. Вавилова "возложить на т. Гинзбурга В.Л. выполнение теоретических работ по заданиям КБ-11 в ФИАН".

9. Переезд группы Тамма–Сахарова в КБ-11 и образование группы Гинзбурга в ФИАНе

В результате в марте 1950 г. Сахаров, Романов и чуть позже Тамм приехали на постоянную работу в КБ-11. С.З. Беленький остался в Москве, по-видимому, в связи с плохим состоянием здоровья.

Я познакомился с Семёном Захаровичем в 1954 г. при обсуждении своей работы, направляемой в *ЖЭТФ*, и более основательно — в 1955 г., когда стал сотрудником теоретического отдела. Это был приятный в общении, остроумный, мудрый и порядочный человек. Его преждевременная кончина в 1956 г. была шоком для всех сотрудников теоретического отдела.

В.Л. Гинзбург включил Семёна Захаровича в свою группу, куда вошёл ещё Е.С. Фрадкин. Численные расчёты по-прежнему вели Л.В. Парийская и Ф.И. Стрижевская, а для руководства ими Виталий Лазаревич пригласил математика Ю.А. Гольфанда. В начале 1953 г. Беленький, Гинзбург и Фрадкин провели расчёты перемешивания в "слойке" с учётом как начальных возмущений в ходе обжатия, так и ударной волны, захлопывающей лёгкий слой. Они учли также влияние вязкости излучения на перемешивание.

Юрий Абрамович Гольфанд, однако, заинтересовался теоретической физикой и стал пренебрегать обязанностями, порученными ему Гинзбургом. Это привело к серьёзному конфликту между ними, который не прекратился даже тогда, когда Ю.А. Гольфанд и Е.П. Лихтман сделали выдающуюся работу по расширению группы Пуанкаре биспинорными генераторами. Это была первая работа по суперсимметрии, связывающей между собой фермионы и бозоны. В 1989 г. её авторы получили премию имени И.Е. Тамма АН СССР.

10. Завершение работ над первой водородной бомбой РДС-6с и успешное её испытание

Работе группы Тамма–Сахарова в КБ-11 над первой водородной бомбой посвящён мой обзор [9]. Эта работа закончилась успешным испытанием "слойки" 12 августа 1953 г. Её энерговыделение — 400 килоджоулей тритиевого эквивалента (ТЭ) — оказалось заметно больше рассчитанного группами Ландау — 250 кт — и Тихонова — 220 кт — за счёт большего реального сечения dt -реакции, чем в расчёте, и использования трития не только в первом, как в расчёте, но и во втором лёгком слое. Это был блестящий успех группы Тамма. Игорь Евгеньевич и Андрей Дмитриевич стали академиками АН СССР, Героями Соцтруда, получили очень большие Сталинские премии, дачи и машины.

Виталий Лазаревич стал членом-корреспондентом АН СССР; за предложение о применении лития-6 в изделии РДС-6с ему была присуждена Сталинская премия 1-й степени в размере 100 тыс. рублей.

Тем временем работа группы Тамма–Сахарова интенсивно продолжалась уже под руководством одного Сахарова. Игорь Евгеньевич после испытания "слойки" вернулся в ФИАН, получив разрешение В.А. Малышева считать его миссию в КБ-11 законченной.

11. "Третья идея", её воплощение в бомбе РДС-37 и результат успешного испытания

Вместе с тем в начале 1954 г. в отделах Сахарова и Зельдовича возникла и стала разрабатываться "третья идея" — идея обжатия термоядерного горючего излуче-

нием атомной бомбы. Ею настойчиво предлагал заниматься приходивший к теоретикам В.А. Давиденко. Она "витала в воздухе" после постепенно приходивших слухов о грандиозном энерговыделении американской бомбы "Майк", взорванной 1 ноября 1952 г. в атолле Эниветок. Идея приобрела реальные очертания в конструкции водородной бомбы РДС-37, состоящей из "слойки" и обжимающей её своим излучением атомной бомбы, размещённых в общем кожухе (см. документ № 120 в [10]).

В июле 1955 г. В.Л. Гинзбург вошёл в экспертную комиссию по рассмотрению физических принципов атомного обжатия и расчётов опытного устройства РДС-37. Эта комиссия в составе И.Е. Тамма (председатель), М.В. Келдыша, М.А. Леонтовича, А.Д. Сахарова, В.Л. Гинзбурга, Я.Б. Зельдовича и И.М. Халатникова на основании приведённых расчётов заключила, что при взрыве РДС-37 примерно половина всей энергии должна выделяться непосредственно в термоядерных реакциях, а другая половина — при делении урана-238 быстрыми нейтронами. Вместе с И.В. Курчатовым экспертная комиссия "единодушно одобрила идею изделия РДС-37 с атомным обжатием и выполненную работу по этому изделию" (см. документы № 160 и № 170 в [10]).

По окончании расчётно-теоретических работ, связанных с РДС-37, был выпущен отчёт, состоящий из нескольких частей с датами от 18 июня до 8 июля 1955 г. (см. документ № 163 в [10]). На его титульном листе перечислены все сотрудники отделов Зельдовича и Сахарова, принимавшие участие в разработке темы. В отчёте приведены физические процессы, протекающие в системе, дана оценка ожидаемой мощности в 0,6–1,4 мегатонн ТЭ, отмечена важная роль математических расчётов, проведённых математическими группами КБ-11 и ряда институтов АН СССР, а также большая работа конструкторских отделов КБ-11.

Испытание РДС-37 было проведено 22 ноября 1955 г.; энерговыделение бомбы составило 1,7 мегатонн ТЭ (см. документы № 184 и № 188 в [10]). Тритий в РДС-37 не применялся, он генерировался в реакциях (2), (9) в основном благодаря использованию дейтерида лития-6, предложенному В.Л. Гинзбургом. Это термоядерное

топливо стало применяться как *основное* во всех водородных бомбах вместе с плутонием — инициатором его обжатия излучением и разогрева.

В марте 1955 г. был сделан новый принципиальный шаг в использовании Li^6D — мною было предложено *двойное обжатие* основного термоядерного заряда *излучением* не только атомной бомбы, но и *небольшого термоядерного заряда* (см. документ № 140 в [10]). Последовательное включение двух источников излучения усилило, продлило и симметризовало обжатие основного заряда. Жаль, что я не закодировал это предложение словом "Мюнхаузен". Но это уже другая история.

Список литературы

1. Рябев Л Д (Общ. ред.), Гончаров Г А (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 2 *Атомная бомба 1945–1954* Кн. 1 (М.: Физматлит, 1999); 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)
2. Сахаров А Д *Воспоминания* Т. 1 (Ред.-сост. Е Холмогорова, Ю Шиханович) (М.: Права человека, 1996)
3. Рябев Л Д (Общ. ред.), Гончаров Г А (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 3 *Водородная бомба 1945–1956* Кн. 1 (М.: Физматлит, 2008)
4. Гончаров Г А "Термоядерный проект СССР: предыстория и десять лет пути к водородной бомбе", в сб. *История советского атомного проекта: документы, воспоминания, исследования* Вып. 2 (Отв. ред. В П Визгин) (СПб.: Изд-во Русск. христианского гуманитар. ин-та, 2002)
5. Рябев Л Д (Общ. ред.), Гончаров Г А (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 2 *Атомная бомба 1945–1954* Кн. 6 (М.: Физматлит, 2006)
6. Гинзбург В Л *Атомное ядро и его энергия* (М.: Гостехиздат, 1946)
7. "Литий" *Большая советская энциклопедия* Т. 25 (Гл. ред. Б А Введенский) 2-е изд. (М.: Большая советская энциклопедия, 1954)
8. Bretscher E, French A P *Phys. Rev.* **75** 1154 (1949)
9. Ритус В И *УФН* **184** 975 (2014); Ritus V I *Phys. Usp.* **57** 903 (2014)
10. Рябев Л Д (Общ. ред.), Гончаров Г А (Отв. сост.) *Атомный проект СССР. Документы и материалы* Т. 3 *Водородная бомба 1945–1956* Кн. 2 (М.: Физматлит, 2009)

V.L. Ginzburg and the Atomic Project

V.I. Ritus

Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,
Leninskii prosp. 53, 119991 Moscow, Russian Federation
E-mail: ritus@lpi.ru

This paper is an expanded version of the author's talk presented at a session of the Division of Physical Sciences of the Russian Academy of Sciences celebrating the 100th anniversary of V.L. Ginzburg's birth. Tamm's special group was organized in June 1948 with the task to clarify the feasibility of constructing a hydrogen bomb. Having checked and confirmed the calculations by Ya.B. Zel'dovich's group, the Tamm group proposed an original hydrogen bomb design, which, following A.D. Sakharov's idea, consisted of an atomic bomb surrounded spherically by uranium and heavy water layers: heavy water, on V.L. Ginzburg's suggestion, was replaced by higher-calorie solid lithium-6 deuteride. The ionization compression of deuterium by uranium, both heated by the atomic bomb explosion, greatly accelerates nuclear reactions in deuterium and uranium and increases the total energy release. Upon their approval by the top KB-11 researchers, the Atomic Project leadership, and the Government, the proposals were implemented in the RDS-6s bomb, which was successfully tested 12 August 1953. Lithium-6 deuteride turned out to be a convenient multi-purpose nuclear fuel. The paper highlights the recognition by the leaders of the country and of the Atomic Project that fundamental science plays a crucial role in promoting scientists' ideas and proposals.

Keywords: hydrogen bomb, ionization compression, lithium-6 deuteride

PACS numbers: **01.60. + q**, **01.65. + g**, **28.70. + y**

Bibliography — 10 references

Uspekhi Fizicheskikh Nauk **187** (4) 444–449 (2017)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2016.10.038102>

Received 7 December 2016

Physics – Uspekhi **60** (4) (2017)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2016.10.038102>