

3. Kossel W. *Nachr. Ges. Wiss. Göttingen* **135** (1927).
4. Stranskii I.N. *Zs. Phys. Chem.* **136**, 259 (1928).
5. Лукирский П.И., ДАН СССР **46**, 300 (1945).
6. Ландау Л.Д. *Собрание трудов* (М.: Наука, 1969), т. 2, с. 119.
7. Burton W., Cabrera N., Frank F. *Phil. Trans. A* **243**, 299 (1951).
8. Joyce D.A., Dobson P.J., Neave J.H., Woodbridge K., *Surf. Sci.* **168**, 423 (1986).
9. Lagally M.G. *Phys Today*. (Nov. 1993), p. 24.
10. Алейнер И.Л., Сурис Р.А. *Письма ЖТФ* **16** (14), 61 (1990); *Superlattices and Microstructures* **10** (3), 375 (1991).
11. Heller E.J., Lagally M.G. *Appl. Phys. Lett.* **60** (21), 25 (1992).
12. Tokura Y., Satio H., Fukui T. *Crystal Growth* **94**, 46 (1989).
13. Bales G., Zangwill A. *Phys. Rev. B* **41**, 5500 (1990).
14. Алейнер И.Л., Сурис Р.А. *ФТТ* **34** (5), 1522 (1992).

PACS numbers: 01.60. + q

В.Я. Френкель. Работы Я.И. Френкеля по ядерной физике. Историю ядерной физики в нашей стране можно условно разделить на несколько этапов. Первый, продолжавшийся более всего и в России мало отмеченный важными событиями, берет свое начало с 1896 г. — года открытия радиоактивности и первых работ, выполненных в этой области в России, и до года чудес — 1932 г., столь богатого выдающимися событиями. В СССР от отмечен прежде всего созданием протон-нейтронной модели атомного ядра (Д.Д. Иваненко), началом работ по строительству циклотрона (Л.В. Мысовский, И.В. Курчатов и их сотрудники) и первыми работами по физике ядра в Ленинградском и Харьковском физико-технических институтах. Второй период как раз и начинается в 1932 г. и продолжается до начала 1936 г. В феврале этого года Н. Бор выдвинул идею о компаунд-ядре, и это дало старт новому рывку в теоретических исследованиях по ядерной физике; таким образом, третий этап занял 1936—1938 гг. Четвертый этап начинается с публикации (январь 1939 г.) знаменитой работы Гана и Штрассмана по делению урана. Заканчивается он у нас, по существу, июнем 1941 г., или, учитывая, что в течение полутора первых лет Великой Отечественной войны работы в области физики ядра практически не велись, последними месяцами 1942 г. Как раз тогда, под руководством И.В. Курчатова, в СССР приступили сначала к организационным, а потом и научно-техническим работам по созданию атомного оружия. Ими и был открыт пятый этап исследований. В августе 1945 г., после атомной бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, они еще более идентифицировались. Конец этого этапа можно отнести к 1946 г. — году успешного запуска первого отечественного ядерного реактора. Шестой этап продолжался от 1946-го до 1949 г. — года, когда была создана и испытана отечественная атомная бомба.

Я.И. Френкель участвовал в исследованиях в рассматриваемой области физики на 1-м, 3-м, 4-м и 6-м этапах. Ниже, по необходимости сжато, рассказывается об этих его работах.

1. В 1916 г., к моменту окончания Яковом Ильичом Френкелем физико-математического факультета Петроградского университета, он уже выполнил и послал в печать работу об электрическом двойном слое на поверхности твердых и жидких тел. В этой работе, доложенной на руководимом А.Ф. Иоффе семинаре по новой физике (при Политехническом институте) Френкелю удалось, основываясь на планетарной модели атома Резер-

форда–Бора, правильно объяснить особенности контактных явлений, являвшихся предметом экспериментальных исследований А. Вольты. Казалось, естественным было бы ожидать, что эту работу (опубликованную одновременно в России и Англии), Яков Ильич представит в качестве своей дипломной. Однако традиция тогдашнего физико-математического факультета (о которой вспоминал А.Ф. Иоффе и, с его слов, И.Е. Тамм [1]) была такова, что оканчивавшим его студентам рекомендовалось писать дипломные работы обзорного характера.

Я.И. Френкель последовал этому неписаному правилу. В трех статьях, опубликованных в 1917 г. [2], он дал детальный обзор состояния атомной (ядерной) физики на рассматриваемое время, прежде всего физики радиоактивности. Два других обзора, опубликованных в том же журнале [3, 4], не идут в сравнение с этой работой Френкеля — ни по полноте, ни по глубине проникновения в материал. Я припоминаю, что, когда готовилось к печати собрание избранных трудов Я.И. Френкеля, Я.Г. Дорфман и А.Г. Самойлович, исходя из указанных выше достоинств работы Френкеля [2], предложили включить ее во 2-й том его трудов (избранные статьи). Редакционная коллегия отклонила это предложение только потому, что объем тома и без того составлял 600 страниц печатного текста.

У Якова Ильича была замечательная профессиональная память, так что систематизированный им тогда материал навсегда ему запомнился. Думается, это помогло ему позднее быстро включиться в соответствующие исследования.

В Петрограде, в первой половине 20-х годов, Френкель сразу оказался единственным кормильцем большой семьи (жена, сын, родители свои и жены, тетушки). Этим определилась, я думаю, довольно интенсивная в те годы научно-популяризаторская его активность, в частности редактирование целого ряда книг. В их числе была и книга известного немецкого инженера Ганса Гюнтера "Технические мечтания" [5]. К ней Яков Ильич написал довольно обширное добавление. Речь в книге Гюнтера шла об источниках энергии — и в этом плане будет уместно привести следующий отрывок из добавления Френкеля к [5] (озаглавленного им так: "Существует ли внутриатомная энергия и можно ли ее использовать?"):

"При сочленении водорода в гелий избыточная энергия атомов водорода должна освобождаться. Ясно, что если бы мы умели вызывать такой синтез, то всякие заботы об энергии отпали бы сами собой. Правда, энергия, о которой мы говорим, составляет около 0,8% той фиктивной энергии (mc^2 — В.Ф.), о которой грезят многие, зато она реальна и об овладении ею мы можем, по крайней мере, мечтать".

Напомним — это был 1925 г. До открытия нейтрона оставалось 7 лет, до первых работ (Хоутерманса и Аткинсона) о ядерной природе энергии звезд — 4 года. Однако уже хорошо известны атомные массы элементов таблицы Менделеева.

Отметим теперь двумя строками попытку Френкеля объяснить природу сильного взаимодействия частиц в ядре, противостоящего его распаду. Я.И. Френкель пытался объяснить это за счет сил магнитного взаимодействия между протонами и (внутриядерными) электронами [6]. Соответствующая работа имеет сейчас лишь исторический интерес, но она была благожелательно

отмечена в известной бейкериановской лекции Резерфорда 1927 г.

2. Начало систематических исследований Френкеля по физике ядра было стимулировано знаменитой работой Н. Бора по теории компаунд-ядра (опубликованной в номере "Nature" от 29 февраля 1936 г. [7]). В марте этого же года И.Е. Тамм прореферировал эту работу в обзорном докладе, сделанном им на сессии группы физики АН СССР в Москве [8]. Непосредственно в прениях по докладу Тамма, в тот же день, Яков Ильич предложил распространить на описание поведения возбужденных (за счет поглощения нейтрона) ядер представления статистической физики (заметив, что число нуклонов в тяжелых ядрах достаточно велико, чтобы оправдать такой подход) [9]. Он сходу в этом выступлении ввел представление о температуре ядра, об испарении и конденсации им нейтронов (его выступление на мартовской сессии 1936 г. было позднее включено в сборник "Нейтрон" [10]). Эти идеи были сразу приняты научным сообществом — укажем прежде всего известную работу Бора и Калькара [11]. Переписка Френкеля и Бора, в которой обсуждаются эти вопросы, приведена в [12, 13]. Детальную статистическую теорию атомных ядер Френкель развил годом позднее [14]. Отметим приведенную им в этой работе изящную аналогию между процессом альфа-распада и сублимацией молекул NaCl из решетки кристаллической соли, не содержащей этих молекул в готовом виде. Статистический подход к описанию поведения и свойств атомных ядер был развит в работах Л.Д. Ландау [15] и В. Вайскопфа [16].

3. В первом номере журнала "Naturwissenschaften" за 1939 г. была опубликована классическая работа О. Гана и Ф. Штрассмана [17]. В ней был установлен факт деления урана нейтронами на две примерно равные по атомным массам части. В литературе по истории физики в СССР имелись разноречивые сведения о том, как и когда результаты Гана и Штрассмана стали известны советским физикам и, в частности, в Ленинграде. Упомянулось о личном письме Ф. Жолио-Кюри на имя А.Ф. Иоффе, полученном в Ленинграде в конце декабря 1938 г. (на это опережение во времени по отношению к дате публикации [17] иронически отреагировал Ф. Штрассман в своих воспоминаниях). Из обнаруженного недавно в "Архиве Нильса Бора" в Копенгагене письма к нему от Я.И. Френкеля¹ можно получить однозначный ответ на вопрос о том, когда и как в Физико-техническом институте, центре тогдашних исследований по физике ядра, узнали о результатах немецких ученых.

Приведем выдержку из этого письма Френкеля, датированного 12 марта 1939 г.:

"Дорогой профессор Бор! Около конца февраля мы впервые узнали об открытии нового типа расщепления ядер урана (из статьи Жолио в "C.R." [18] и, немного позднее, из американского "Science News Letters" [19]). Через несколько дней после этого я разработал теорию

этого процесса, которая представляется совпадающей в своих существенных чертах с предложенной Фришем и Мейтнер (в нескольких словах речь идет об уменьшении поверхностного натяжения за счет электрического заряда), а в особенности с Вашими письмами в "Nature" и "Phys. Rev."

Поскольку я разработал, в основном, количественный аспект задачи, который может отсутствовать в работах других авторов, я посылаю свою статью в новый советский журнал, которому предстоит заменить "Phys. Zs. der Sowjet Union" и "Technical Physics USSR" (Яков Ильич имеет в виду "Journal of Physics USSR" — В.Ф.). Он будет издаваться Академией наук. Я боюсь, однако, что статья появится в печати с большим опозданием (хотя мне и сказали, что первые два номера за этот год уже находятся в печати). Так или иначе, я думаю, Вам будет небезынтересно прочесть мою статью до ее публикации. В соответствии с этим, я посылаю Вам ее текст. Я был бы рад, если бы оказалось возможным опубликовать ее всю или краткие выдержки из нее, по меньшей мере, в "Phys. Rev." (в качестве "Письма к редактору")".

В тот же день Яков Ильич направляет один экземпляр английской рукописи своей статьи проф. Э. Хиллу (своему ассистенту в годы, когда Френкель преподавал теоретическую физику в Миннесотском университете в США). Хилл составляет реферат из первой части статьи Френкеля, содержащей простой энергетический расчет реакции деления.

В публикации этой части статьи, осуществленной в соответствии с пожеланием Френкеля в "Phys. Rev" [20], проставлена дата окончания статьи — 12 марта 1939 г. Другой экземпляр этой же статьи Френкель направляет Нильсу Бору; вероятно, он уже знал о том, что Бор с 16 января находится в США. Как будет видно из дальнейшего, Бор своевременно получает манускрипт работы Якова Ильича.

Здесь следует указать, что первые энергетические расчеты реакций деления урана медленными нейтронами были независимо выполнены разными физиками по мере того, как ими были получены сведения о работе Гана и Штрассмана. В табл. I указаны соответствующие сведения о публикациях.

Таблица I

| Автор | Название журнала | Дата получения статьи | Дата публикации |
|---------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------|
| Л. Мейтнер, О. Фриш | "Nature" [21] | 16.01.39 | 11.02.39 |
| В. Вайцзеккер | "Naturwissenschaften" [22] | 9.02.39 | 24.02.39 |
| Е. Фененберг | "Phys. Rev." [23] | 14.02.39 | 11.03.39 |
| Я.И. Френкель | "Phys. Rev." [20] | 12.03.39 | 15.05.39 |

Укажем, что работа [20] была включена в сборник, посвященный сорокалетию со дня выхода работы Гана и Штрассмана [24].

Более существенным шагом вперед была, несомненно, математическая разработка теории деления. Соответствующее ее описание дано в [25]. Ограничимся поэтому более чем краткими комментариями. Электрокапиллярная теория деления тяжелых ядер была разработана независимо Я.И. Френкелем [26, 27], с одной стороны, и Н. Бором и Д. Уилером [28] — с другой.

¹ Пользуюсь случаем, чтобы поблагодарить директора архива д-ра Ф. Осеруда за оказанное гостеприимство во время моего пребывания в Копенгагене, а д-ра Х. Леви — за ознакомление с двумя письмами Френкеля к Бору (1939 и 1946 гг.), которые к тому времени не были включены в общий каталог переписки Н. Бора.

Поглощение нейтрона ядром урана вызывает в нем колебания формы, которые, нарастая, могут привести к делению ядра. Расчет такого деления и произведен Френкелем и более детально — Бором и Уилером. В статье [28] указывается, что приведенные в соответствующей ее части результаты совпадают с полученными Френкелем, как это стало известно авторам из манускрипта, присланного им Френкелем. Хронологическая последовательность публикаций приведена в табл. II.

Таблица II

| Автор | Название журнала | Дата получения статьи | Дата публикации |
|---------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| Я.И. Френкель | "ЖЭТФ" [26] | 14.04.39 | Вып. 6 (06.39) |
| Я.И. Френкель | "J. Phys. USSR" [27] | 15.03.39 | Вып. 2 (03/04.39) |
| Н. Бор, Д. Уилер | "Phys. Rev." [28] | 28.06.39 | 1.09.39 |

Отметим, что в том же 1939 г. Френкель в соавторстве с сотрудником Радиевого института В. Чердынцевым опубликовал еще одну работу по теории ядра (его статике) [29]. Она называлась "О газовой модели атомного ядра". В этой работе, в частности, в очень хорошем соответствии с экспериментальными данными получена теоретическая кривая зависимости изотопического числа $I = A - 2Z$ ядра атомной массы A и заряда Z от Z , определены числа изобаров и изотопов, рассмотрены вопросы плотности и теплового расширения атомных ядер и т.д. Все эти результаты удалось получить на основе рассмотрения ядра как газа составляющих его частиц при абсолютном нуле температуры (при этом видна прямая генетическая связь этой работы с работой [30]). Укажем, что свою работу 1936 г. Яков Ильич назвал "О твердой модели тяжелых ядер" [31], имея в виду использование для выражения энергии их частиц формулы Эйнштейна для квантовой теории теплоемкости твердых тел (1907). Работа 1939 г. о колебаниях ядерной жидкости [26, 27] основывалась на модели жидкой капли (об истории этой модели, включающей имена Г.А. Гамова и П. Эренфеста, см. [32]). Таким образом, Френкелем, как это характерно и для других его работ по теоретической физике, для описания ядер были использованы три различных (и на первый взгляд взаимоисключающих) подхода, на самом деле отнюдь не противоречащих друг другу. В данном случае можно — по аналогии — говорить о них, как о трех проекциях предмета, каковым является атомное ядро, в своей совокупности позволяющих получить рельефное представление об этом предмете. Заметим, наконец, что в развитие работ [26, 27] Френкель выполнил исследование по спектроскопии атомных ядер [33], в котором продвинул математическую теорию электрокапиллярных колебаний заряженной ядерной жидкости.

4. В истории науки, как, разумеется, и в самой науке, существенной и содержательной может оказаться постановка тех или иных вопросов. В этом плане заслуживает внимания вопрос о том, на основе каких соображений и принципов формировал в самом начале 1943 г. свою команду И.В. Курчатов? На рассматриваемый момент из числа нескольких физиков-теоретиков, имевших важные достижения в работах по физике ядра, наиболее значительных результатов, как представляется, достиг

Я.И. Френкель — в перечисленных выше его исследованиях 1936-го, 1937-го и 1939-го годов. Поэтому представляется по меньшей мере странным, что он не был привлечен к работам по созданию бомбы — в отличие от Я.Б. Зельдовича, приступившего к ним сразу, в 1943 г., и Л.Д. Ландау и И.Е. Тамма, которые начали ими заниматься несколько позже — в конце 40-х — начале 50-х годов.

Этот вопрос в еще большей степени обостряется в свете полученного документа из Российского научного центра "Курчатовский институт" [34]. Копия этого документа была предоставлена мне при любезном содействии проф. И.Н. Головина. Документ — письмо Я.И. Френкеля на имя И.В. Курчатова — датирован 22 сентября 1945 г. К этому времени работы по созданию атомного оружия велись в СССР полным ходом, уже начал действовать первый советский ядерный реактор. Американцами произведена атомная бомбардировка городов Японии.

Есть еще одна дата, с которой следует сопоставить отправку письма Френкеля Курчатову. Во второй половине июня 1945 г. в Москве торжественно отмечалось 220-летие Академии наук СССР. Совершенно очевидно, что эта "не круглая" дата была выбрана, чтобы продемонстрировать то значение, которое придавало Правительство СССР науке. Юбилейные торжества были приурочены к победе над фашизмом. Это было первым международным собранием после долгого перерыва, оно знаменовало, казалось бы, возрождение интернациональных научных связей, прерванных у нас, по существу, в 1937 г. (когда в Москве собралась 3-я Всесоюзная конференция по физике ядра, на которой в последний раз перед началом 2-й мировой войны присутствовали иностранные физики).

Участники юбилейной сессии Академии были приглашены на исторический парад Победы на Красной площади (24 июня 1945 г.). Среди десятков зарубежных гостей были и выдающиеся физики из Франции — супруги Ф. и И. Жолио-Кюри, П. Оже, Ф. Перрен.

Указанный документ свидетельствует, что между Френкелем и Жолио-Кюри (они были знакомы еще со времен зарубежных поездок Якова Ильича, а потом виделись в Ленинграде, куда Жолио-Кюри приезжал в 1933 и 1936 гг.) состоялась конфиденциальная беседа. Об ее содержании и свидетельствует докладная записка Френкеля Курчатову. Она начинается так:

"В беседе со мной проф. Жолио сообщил мне следующие данные о методе приготовления атомных бомб, использованном американцами. Вместо того, чтобы выделять легкий изотоп урана, оказалось проще и практичнее изготавливать уран-239 путем облучения обычного урана нейтронами. Существенную роль при изготовлении этого изотопа играют тяжелая вода и графит (особого сорта). Начало взрыва осуществляется благодаря спонтанному распаду урана. В процессе изготовления бомбы утилизируется в качестве отхода энергия, выделяемая ураном, используемая для машин мощностью в 15 тысяч лш. сил.

Я счел неудобным выспрашивать у Жолио подробности, так как полагал, что он сам подробно изложит все, что ему известно, в порядке осуществления помощи, которую он предлагал оказать советским физикам, занимающимся проблемой урана, в виде консультаций или совместной работы.

Так как разрешение вопроса о привлечении Жолио задержалось, то я считаю своевременным изложить вкратце те представления и соображения, которые возникли у меня в связи с краткими сведениями, полученными от Жолио, а также отчасти и сообщениями иностранной прессы и радио" [34, лист 1].

Замечу, что сведения, имевшиеся у Жолио, были им получены еще в течение военных лет. В статье "Атомная энергия во Франции" [35] он писал: "Во время оккупации Франции я был информирован о достигнутых успехах (в США и Англии — В.Ф.) через одного борца за свободную Францию, приезжавшего во Францию с поручением от французского правительства, находившегося в Лондоне" [36, с. 500]. О работах немецких ученых по атомному оружию Жолио-Кюри, как это видно из [36], догадывался еще в 1940 г., когда в его лабораторию в Париже приезжали высокопоставленные немецкие физики. По их вопросам не представляло труда понять, что в Германии ведутся какие-то работы по созданию атомного оружия. Добавим сюда, вновь следуя [35], что через несколько недель после освобождения Парижа Ф.Жолио-Кюри поехал в Лондон и встретился там с французскими физиками, которые работали в военных учреждениях союзников [35, с. 500] и, видимо, в общих чертах рассказали ему о соответствующих исследованиях.

Неясно, состоялась ли в конце концов встреча Жолио-Кюри с кем-либо из физиков, непосредственно занятых в работах уранового проекта в СССР. В этом плане заслуживает внимания фраза из воспоминаний Б.Г. Кузнецова о Жолио-Кюри: "Я впервые увидел Фредерика Жолио-Кюри летним утром 1945 года на лестнице Президиума Академии наук. Он искал меня, чтобы передать привет из Ленинграда от Я.И. Френкеля и кое-что по совету того же Якова Ильича рассказать" [37, с. 74] (Б.Г. Кузнецов, известный историк науки, в 1941—1945 гг. занимал ответственный пост при Президиуме АН СССР).

В своем письме (докладной записке) Курчатову Френкель развивает свои соображения о существенных и важных с его точки зрения возможных направлениях работ на пути создания бомбы. Это — предложение об использовании плутония вместо урана-235, затем — идеи об устройстве реакторов (гетерогенная их структура, выбор замедлителя, в частности, для изготовления плутония и выработки промышленной энергии. Это, во всяком случае, в первом приближении, как раз те пути, по которым шли ученые и инженеры как в США, так и у нас. Есть в докладной записке и другие предложения и суждения, которые, видимо, неверны (так, Яков Ильич полагает, исходя из некоторых соображений, что взрыв в урановой бомбе с плутониевым детонатором носит не цепной, а тепловой характер). Мы хотели бы здесь обратить особое внимание на последнее (10-е) из приведенных Френкелем соображений:

"10. Представляется интересным использовать высокие — миллиардные — температуры, развивающиеся при взрыве атомной бомбы, для проведения синтетических реакций (например, образования гелия из водорода), которые являются источником энергии звезд и которые могли бы еще более повысить энергию, освобождаемую при взрыве основного вещества" [34, л. 4].

Это предложение, помимо самостоятельного интереса, заслуживает внимания по двум соображениям. Во-первых, оно очевидным образом перекликается с тем,

что писал Я.И. Френкель в дополнении к книге Г. Гюнтера в 1925 г. [5]. Во-вторых, интересно напомнить, что оно высказано задолго до известного предложения Э. Теллера (см. по этому поводу, например, статью Ю.Б. Харитона [38] памяти Я.Б. Зельдовича).

Публикуемые выдержки из докладной записки Френкеля 1945 г. — лишнее подтверждение того, что идея о создании водородной бомбы пришла к нам не с Запада да еще таким детективным путем, как об этом у нас в последнее время часто писалось (т.е. через К. Фукса). Укажем, кстати, что эти же конспективные соображения, представлявшиеся, я думаю, Якову Ильичу вполне очевидными и потому не секретными, были им изложены в одной из первых, если не первой, научно-популярной статье об освобождении атомной энергии, опубликованной в отечественной печати [39]. Примечательно, однако, что эти соображения были исключены из обеих книг на ту же тему, увидевших свет в 1946 и 1950 гг. [40, 41].

Весьма удивительным представляется мне то обстоятельство, что на письмо Френкеля, насколько мне известно, не последовало абсолютно никакой реакции со стороны И.В. Курчатова. Об этом мне рассказывала моя мать, С.И. Френкель, уже после смерти отца. Не зная, естественно, о содержательной части докладной записки, она вспоминала, что Яков Ильич был удивлен и уязвлен отсутствием какого-либо отклика на нее. Это в еще большей степени обостряет поставленный выше вопрос о выборе Курчатовым теоретиков для работы над созданием бомбы. Мои попытки отыскать какую-либо логическую закономерность в этом выборе успеха не имели.

Отмечу в заключение, что в 1946 г. Я.И. Френкель развил интересную квантовомеханическую теорию механизма деления тяжелых ядер [42]. Она объясняла, по его мнению, асимметричный характер такого деления, связанный с туннельным характером этого процесса (крайним пределом такой асимметрии, как отмечал Френкель, является обычный α -распад).

Оттиски своих статей, опубликованных в [42] и [43], Френкель разослал своим коллегам как у нас, так и за рубежом. Мне известно два отклика на их получение. Один из них принадлежит М. Борну (в нем, кстати, Борн специально отмечает ясный и понятный не специалисту язык статьи Френкеля) [см. [12], с. 436]. Откликнулся на получение статьи и Н. Бор. Его письмо, явившееся ответом на письмо Френкеля от 1 июля 1946 г. (которым он сопровождал отсылку оттиска), не дошло до Якова Ильича (оба письма — Френкеля и Бора — показала мне д-р Х. Леви, см. построчное примечание на с. 9). Бор высказал в нем ряд критических замечаний по поводу работы Френкеля. В несколько видоизмененной форме они содержатся и в опубликованном его письме Д. Уилеру от 13 июля 1949 г. (см. [25, с. 666]).

Я надеюсь привести весь этот массив документов и подробно их прокомментировать в отдельной публикации.

Список литературы

1. Тамм И.Е. Яков Ильич Френкель. *УФН* 76 (3), 397–430 (1962).
2. Френкель Я.И. Строение атомов в свете радиоактивных излучений. *ЖРФХО. Ч. физ.* 49 (1), 19–30; (2), 33–72; (3/10), 73–110 (1917).

3. Нестурх К.Ф. Строение атома по Бору. *Там же* **45** (8—9 Б), 149—173 (1913).
4. Левен Г.И., фон. Гипотеза о строении атомов. *Там же* **46** (6Б), 153—195 (1914).
5. Гюнтер Г. *Технические мечтания* (Л.: Сеятель, 1925).
6. Frenkel J. Die Elektrodynamik des rotierenden Elektrons. *Zs. Phys.* **37** (4/5), 243—262 (1926); перевод: Френкель Я.И. *Собрание избранных трудов* Т. 2 (М.: Изд-во АН СССР, 1958) (в дальнейшем Френкель, 2), с. 460—479.
7. Bohr N. Neutron capture and nuclear constitution *Nature*. **137**, 344—348 (1936); перевод: Бор Н. *Избр. науч. тр.* Т. 2 (М.: Наука, 1971) (в дальнейшем — Бор, 2), с. 192—201.
8. Тамм И.Е. Проблема атомного ядра. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* (1/2), 321—323 (1936).
9. Френкель Я.И. *Там же* (без названия), с. 343—345.
10. Френкель Я.И. О статистическом подходе к описанию тяжелых ядер. В кн. *Нейтрон*. (Отв. ред. Франк И.М.) (М.: Наука, 1983), с. 283—284.
11. Bohr N., Kalckar F. On the transmutation of atomic nuclei by impact of material particles. *Math.-Fys. Medd. Dan. Vidensk. Selsk.* **14** (10), 1—40 (1937); перевод: Бор, 2, с. 213—238.
12. Френкель В.Я. *Яков Ильич Френкель* (М.; Л.: Наука, 1966).
13. Френкель Я.И. *Воспоминания, письма, документы* (Л.: Наука, 1986).
14. Френкель Я.И. Статистическая теория распада атомных ядер. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* (1—2), 233—248 (1938); см. также: Френкель, 2, с. 480—495.
15. Ландау Л.Д. К статистической теории ядер. *ЖЭТФ* **7** (7), 819—824 (1937).
16. Weisskopf V. Statistics and nuclear reactions. *Phys. Rev.* **52** (4), 295—303 (1937).
17. Hahn O., Strassmann F. Ueber den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels entstehenden Erdalkalimetalle. *Naturwissenschaften* **27**, 11—15 (1939); перевод в кн. *Нейтрон* [10], с. 292—299.
18. Joliot-Curie F. Preuve experimentale de la rupture explosive des noyaux d'uranium et thorium sous l'action des neutrons. *C.R. Ac. Sci. (Paris)* **208**, 341—343 (1939); перевод: Жолио-Кюри Ф. Экспериментальное доказательство взрывного расщепления ядер урана и тория под действием нейтронов. В кн.: Жолио-Кюри Ф. *Избранные труды* (М.: Изд-во АН СССР, 1957), с. 353—355.
19. *Sci. News Lett.* Febr. 11, 86—89, 93 (1939).
20. Frenkel J. On the splitting of heavy nuclei by slow neutrons. *Phys. Rev.* **55** (10), 987 (1939).
21. Meitner L., Frisch O. Disintegration of Uranium by neutrons — a new type of nuclear reactions. *Nature* **143**, 239—240 (1939); — перевод в кн. *Нейтрон*, с. 302—305 [10].
22. Weizsaecker K., von. Troepfliche Model des Kerns. *Naturwissenschaften* **26** (8), 132 (1939).
23. Feenberg E. On the shape and stability of heavy nuclei *Phys. Rev.* **55** (5), 504—505 (1939).
24. 40 Jahre Kernspaltung (eine Einfuehrung in die Originalliteratur) (Herausgegeben von Wohlfarth H.) (Darmstadt, 1979).
25. Peierls R. Introduction In: Bohr N. Collected works. Vol. 9. Nuclear Physics (1929—1952). (Ed. Peierls R.) (Amsterdam: North-Holland, 1979), p. 3—83.
26. Френкель Я.И. Электрокапиллярная теория расщепления тяжелых ядер медленными нейтронами. *ЖЭТФ* **9** (6), 641—653 (1939).
27. Frenkel J. Electrocapillary theory of the splitting of heavy elements by slow neutrons. *J. Phys. USSR* **1** (2), 125—136 (1939).
28. Bohr N., Wheeler J. The mechanism of nuclear fission *Phys. Rev.* **56** (5), 426—450 (1939); перевод: Бор, 2, с. 299—349.
29. Френкель Я., Чердынцев В. О газовой модели атомного ядра *ЖЭТФ* **9** (8), 899—914 (1939).
30. Frenkel J. Elementare Theorie magnetischer und elektrischer Eigenschaften der Metalle beim absoluten Nullpunkt der Temperatur. *Zs. Phys.* **49** (1/2), 31—45 (1928); перевод: Френкель, 2, с. 96—108.
31. Frenkel J. On the solid-body model of heavy nuclei. *Zs. Phys. Sowjetunion* **9** (2/3), 533—536 (1936); перевод: Френкель, 2, с. 477—479.
32. Френкель В.Я. Капельная модель ядра. В кн. *Деление ядер. 50 лет*. (СПб.: Радиовый институт им. В.Г. Хлопина, 1992), т. 1, с. 128—133.
33. Френкель Я.И. О спектроскопии атомных ядер. *ЖЭТФ* **10** (4), 362—375 (1940).
34. Российский научный центр "Курчатовский институт". Фонд научно-технической документации. Архивный номер 1-1/с-19. Лл. 8,9 (по докладной записке Френкеля-л. 1-4).
35. Joliot-Curie F. L'energie atomique en France. *Atomes* (15), 157—191 (1947); перевод Жолио-Кюри Ф. *Избр. тр.* [18], с. 498—508.
36. Гудсмит С. *Миссия Алсос* (М.: Атомиздат, 1963).
37. Кузнецов Б.Г. *Встречи* (М.: Наука, 1984), с. 74—76.
38. Харитон Ю.Б. Счастливейшие годы моей жизни В кн.: *Знакомый незнакомый Зельдович* (Отв. ред. Герштейн С.С., Сюняев Р.А.) (М.: Наука, 1993), с. 99—108.
39. Френкель Я.И. Атомная энергия и ее освобождение. *Природа* (5), 7—23 (1946).
40. Френкель Я.И. *Освобождение внутриатомной энергии* (М.: Изд-во АН СССР, 1946).
41. Френкель Я.И. *Принципы теории атомных ядер* (М., Л.: Изд-во АН СССР, 1950).
42. Френкель Я.И. О некоторых особенностях процесса деления тяжелых ядер. *Изв. АН СССР. Сер. физ.* **10** (4), 415—423 (1946).
43. Frenkel J. On some features of the process of fission of heavy nuclei *J Phys. USSR* **10** (6), 533—539 (1946).