

Сотрудники Института физики металлов Уральского отделения Российской академии наук и становление Атомного проекта СССР

С.А. Гудин

Освещается вклад сотрудников Института физики металлов Уральского отделения Российской академии наук в первый этап Атомного проекта СССР. Основная его часть связана с разрешением одной из труднейших задач, вставших перед разработчиками атомного цита СССР, — промышленного разделения изотопов урана. Так, в институте в 1943 г. под руководством И.К. Кикоина начались первые работы по разделению изотопов при помощи методов диффузии и центрифугирования. И.К. Кикоин был назначен заместителем И.В. Курчатова и являлся основным ответственным за разработку промышленного метода получения урана-235.

Ключевые слова: Атомный проект СССР, промышленное разделение изотопов урана, газодиффузионный метод разделения изотопов, центрифужный метод разделения изотопов, уран-235, УралФТИ, прототипичная центрифуга

PACS number: 01.65.+g

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.02.039648>

Содержание

1. Введение (765).
2. Начало Атомного проекта (766).
3. Электромагнитный метод разделения изотопов урана (769).
4. Первые исследования на центрифуге Ланге (769).
5. Помощь советской разведки (771).
6. Начало работ по Атомному проекту в Свердловске (772).
7. Перистые фильтры (773).
8. Перенос работ из Свердловска в Москву (773).
9. Вопрос рецензента (775).
10. Уральский электрохимический комбинат (775).
11. Павел Алексович Халасев (776).
12. Поездка в Берлин в мае 1945 года (777).
13. Второй десант свердловских учёных в Атомный проект (777).
14. Первый диффузионный завод Д-1 (778).
15. Центрифужная технология обогащения урана (779).
16. Разработка методов регистрации ядерных взрывов (780).
17. Сергей Константинович Садаров (781).
18. Сотрудники лаборатории фазовых превращений Института физики металлов (781).
19. Привлечение к работам в Атомном проекте без перевода с основного места работы и связь с Уральским политехническим институтом (784).
20. Учёные-химики (784).
21. Вместо заключения (785).
22. Приложение (785).
- 22.1. Историческая справка. 22.2. Физическая справка.
- Список литературы (786).

С.А. Гудин, Институт физики металлов имени М.Н. Михеева
Уральского отделения РАН,
ул. С. Ковалевской 18, 620108 Екатеринбург, Российская Федерация
E-mail: gudin@ipm.uran.ru

Статья поступила 16 сентября 2023 г.,
после доработки 14 февраля 2024 г.

"...Вероятно, больше чем какая-либо другая группа в Проекте, группа, работавшая над газовой диффузией, заслуживает награды за храбрость и настойчивость, так же, как за научные и технические дарования..."

Смйт Г.Д. Атомная энергия для военных целей:
Официальный отчет о разработке атомной бомбы
под наблюдением правительства США
(М.: Трансгексиздат, 1946)

1. Введение

Генри Смйт, автор отчёта о "Манхэттенском проекте", слова которого приведены в качестве эпиграфа, подчёркивает сложность задачи по разделению изотопов урана и выделяет её среди огромного множества труднейших проблем, решённых при создании атомного оружия. Советский Союз начал работы по Атомному проекту с отставанием на несколько лет от США и Великобритании. В СССР в решении задачи по разделению изотопов урана непосредственное участие приняли сотрудники Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН, далее в статье для краткости — ИФМ), г. Екатеринбург.

В этой статье освещается вклад сотрудников ИФМ, принимавших участие в работах первого этапа Атомного проекта СССР. Вклад этот малоизвестен, в основном в связи с переводом привлекаемых в Атомный проект на работу в такие специально создаваемые учреждения, как Лаборатория № 2 АН СССР, Уральский электрохимический комбинат (г. Новоуральск), КБ-11 (РФЯЦ-ВНИИЭФ, г. Саров). Но история могла пойти и по иному пути. Вот как об этом вспоминает заместитель И.В. Курчатова Исаак Константинович Кикоин: "Я предлагал все работы организовать в Свердловске, где у меня была неплохая лаборатория, к тому же был физический институт, который можно было бы прекрасно использовать. Всё это находилось в большом,

тыловом, промышленном городе, с энергетикой и квалифицированной рабочей силой. Но это мое предложение не прошло, так как урановая проблема считалась проблемой номер один, и в быстрейшем её разрешении непосредственно было заинтересовано Правительство, которое полностью оценило жизненную необходимость её решения. Поэтому решено было институт или как его зашифровали — Лабораторию №2 строить в Москве, чтобы никакие чисто формальные моменты по разрешению тех или иных вопросов не тормозили и без того трудный ход работ" [1, с. 34].



И.К. Киконин с женой, В.Н. Тишеченкой, и дочкой Любой на демонстрации (1940-е годы).

2. Начало Атомного проекта

28 сентября 1942 г. вышло распоряжение Государственного Комитета Обороны СССР ГКО-2352сс "Об организации работ по урану" [2], и в середине октября 1942 г. И.В. Курчатов был вызван в Москву, где уполномоченный ГКО С.В. Кафтанов сообщил ему, что "правительство приняло решение о возобновлении и широком развороте работ по урановой проблеме" [3]. 11 февраля 1943 г. было принято новое распоряжение ГКО, которым Игорь Васильевич Курчатов был назначен научным руководителем работ по "урановой проблеме". В конце 1942 г. И.В. Курчатов посетил в Свердловске лабораторию И.К. Киконина и, видимо, был удовлетворён качеством и количеством работ, их связью с промышленностью, и вскоре Исаях Константинович был привлечён к работе по разработке промышленного метода разделения изотопов урана с целью получения урана-235, став заместителем Курчатова. В начале 1943 г. И.К. Киконин был переведён в Москву. 29 сентября 1943 г. общее собрание академии наук СССР избрало И.К. Киконина членом-корреспондентом Академии наук СССР, а И.В. Курчатова — действительным членом Академии наук СССР. Киконин стал научным руководителем одного из основных направлений уранового проекта — разделения изотопов урана с целью получения изотопа урана-235. И.К. Киконин: "Довольно скоро мы, т.е. И.В. Курчатов и я, разделили "сферы влияния". Игорь Васильевич был большим специалистом в ядерной физике. Я взялся за решение задачи о разделении изотопов урана, т.е. за получение расщепляющегося материала, необходимого для создания атомной бомбы..." [4, с. 6]. Часть, связанная со "сферой влияния" И.В. Курчатова, на сегодняшний день достаточно хорошо исследована [5–17], "сфере влияния" И.К. Киконина посвящена эта статья.

К Атомному проекту на первом этапе было привлечено достаточно много сотрудников ИФМ УрО РАН, мне удалось установить фамилии 17 человек: И.К. Киконин, В.С. Обухов, Д.Л. Симоненко, М.В. Якутович, С.В. Карпачёв, И.Н. Поляков, П.А. Халилеев, С.К. Сидоров, А.П. Комар, Д.М. Тарасов, Н.Н. Буйнов, В.С. Аверкиев, Л.В. Буланая, В.Н. Тишеченская, А.К. Киконин, а также Бардин и Корсунский, инициалы которых установить пока не удалось. Что это за люди, почему они были привлечены к Атомному проекту и занимались ли до этого атомными исследованиями? ИФМ УрО РАН был создан в 1932 г. на базе выделенной из Ленинградского физико-технического института группы сотрудников, отсюда и появилось первое название — Уральский физико-технический институт. И.К. Киконин возглавлял в нём лабораторию электрических явлений.

В 1942 г. выходит статья И.К. Киконина, С.В. Губаря, В.С. Обухова "Новая система электроизмерительной аппаратуры для измерения постоянных токов большой силы" [18]. В том же году авторы получили за работу, описанную в этой статье, Сталинскую премию третьей степени с формулировкой: "за изобретение новой системы электрических измерений на постоянных токах большой величины". Это была первая Государственная премия, полученная в Институте физики металлов. Чем же была интересна и важна эта разработка? Обратимся к воспоминаниям И.К. Киконина [19, с. 583]: "... ко мне в лабораторию пришли товарищи из Камека-Уральска и представились работниками его алюминийного завода;

они рассказали, что завод их построен, а пуск его задерживается, так как они не могут отрегулировать электролизные ванны; делается это на глазок, так как контролировать огромные токи в несколько десятков тысяч ампер, идущие через ванны, нечем, поэтому ванны то горят, то замерзают.

— Не могли бы Вы помочь нам?

— Я лично никогда такими вопросами не занимался, но попробовать можно.

Вместе со своими сотрудниками я отправился на завод посмотреть, в чём дело и можно ли чем-либо помочь. Нам показали совершенно новую ванну, через которую должен протекать ток в 30000 ампер. Подводящие провода — это огромных размеров алюминиевые доски, и, конечно, измерять такой ток неизвестно как. Но задача поставлена и решать её надо. Вот тут-то и помогли мне накопленные мною опыт и знания. Я понял, что в непосредственном измерении тока не может быть и речи, по магнитное поле непосредственно около проводника, по которому течёт ток, зависит от этого тока, и поэтому решил заменить непосредственное измерение тока измерением магнитного поля проводника. Необходимые опыты были проделаны тутчас прямо в цеху. Вернувшись с завода занялись конструкцией прибора. Вскоре был создан соответствующий прибор, который апробирован нами на заводе. Оказалось, что он отвечает решительно всем поставленным условиям, позволяет измерять силу тока с заданной точностью и даже лучше.

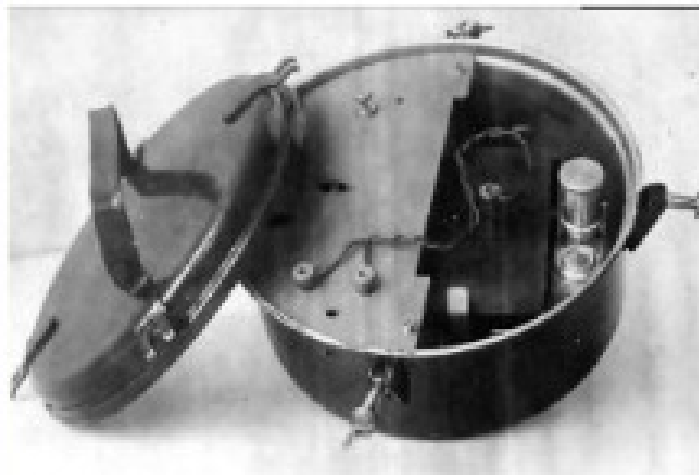
Срочно была сделана серия приборов, с которыми мы явились на завод, смонтировали их, опробовали и приступили вместе с работниками завода к отладке ванны. Ванны заработали нормально, вскоре был получен первый металл. Получены первые слитки. В качестве самой дорогой награды нам были подарены сувенирные слитки из этого первого алюминия Каменск-Уральского завода. Конечно, первый слиток был послан Сталину, второй — секретарю обкома, а третий вручили мне на память о пуске завода¹. Приведу выдержки из статьи "Новая система электронизмерительной аппаратуры для измерения постоянных токов большой силы" 1942 г. [18], которые объясняют трудности при применении традиционного подхода при помощи шунтового способа измерения силы тока: "Такие шунты, рассчитанные на токи порядка нескольких десятков тысяч ампер, представляют собой весьма громоздкие сооружения. Например, шунт 10000 А весит около 35 кг (вес шунта¹ растёт пропорционально квадрату силы тока)". "У нас в СССР до настоящего времени шунты на токи выше 5000 А импортировались. Но и за рубежом шунты изготовлялись на токи не выше 30000 А, между тем как на ряде наших заводов токи достигают величины 70000 А и выше. Изготовление шунтов на большие токи наталкивается на трудности принципиального характера. Трудно получить отливку однородного сплава".

И.К. Киконин, С.В. Губарь, В.С. Обухов разработали, сконструировали и изготовили следующие приборы, позволяющие проводить измерения при токах до 70000 А: килоамперметры переносные (для измерения распределения токов по анодам электролитических ванн), килоамперметры стационарные (для измерения силы тока в главной цепи с передачей показаний на пульт), килоам-

перметры цеховые с большой шкалой диаметром до 800 мм, счётчики киловатт-часов, счётчики ампер-часов. Во время войны лаборатория И.К. Киконина оснастила этими приборами большое число уральских заводов. Контакт с заводами на этом не закончился. В характеристике В.С. Обухова от 15.11.1942 г. [20] И.К. Киконин пишет: "При его же участии была разработана аппаратура для автоматического контроля заделки изделий в электропечах. Причём в последней работе им была разработана весьма оригинальная конструкция контактного механизма. В настоящее время т. Обухов принимает участие в ряде оборонных работ, ведущихся в лаборатории. Некоторые из них успешно заканчиваются. На всех работах В.С. Обухова лежит печать большой инициативы и самостоятельности. С 1942 г. В.С. Обухов лауреат Сталинской премии. Поэтому я считаю безусловно правильным и чрезвычайно желательным присвоение тов. Обухову звания ст. научного сотрудника". Представление Президиума Уральского филиала АН СССР о присвоении В.С. Обухову учёного звания старшего научного сотрудника было отклонено на заседании Президиума 02.09.1943 г. (докладчик Секретарь Президиума АН СССР академик Н.Г. Брусевич) [21], "как не имеющему учёной степени кандидата наук". В личном деле В.С. Обухова находится ходатайство помощника Председателя УФАИ по научной части, директора Института металлофизики и металлургии (ещё одно бывшее наименование ИФМ УрО РАН) Н.В. Деменева в Комитет по делам Высшей школы при СНК СССР от 16.06.1943 г.: "Учитывая длительную и успешную научную работу Лауреата Сталинской премии В.С. Обухова прошу допустить его до защиты кандидатской диссертации без сдачи кандидатских экзаменов" [22]. Встаёт вопрос, почему такое вроде бы простое дело, как сдача кандидатских экзаменов, решалось на самом высшем уровне? В Свердловске тогда ещё не было диссертационного совета и, чтобы сдать эти экзамены, необходимо было ехать в Москву; в это время шла война, а Обухов уже был привлечён к напряжённым работам, связанным с решением оборонных задач.

По заданию огнеметно-миномётного управления НКО к декабрю 1941 г. была разработана противотанковая магнитная (глубинная) мина. В Справке Командующему войсками Уральского военного округа генерал-майору А.В. Каткову от 6.12.1941 г. [23, с. 252] И.К. Киконин пишет: "Сейчас изготовлен опытный образец мины и ведутся её испытания. ...Готовится разработка противотанковой авиационной мины и др.". В.С. Аверкиев вспоминает: "Занимались разработкой конструкции портативной мины для партизан. Требования были очень жёсткие: маленький размер и вес, герметичность (чтобы мина можно было оставлять в болоте, и она бы в течение нескольких дней не портилась), нужно было также, чтобы мины не взрывались от детонации. Работало несколько человек: И.К. Киконин, В.С. Обухов, В.С. Аверкиев, работали очень увлечённо. Основа конструкции — магнитная стрелка, вращающаяся в вертикальной плоскости. В нормальном состоянии она располагалась горизонтально, но, если над миной оказывалось что-то железное, стрелка отклонялась вверх и замыкала контакт. В качестве упаковки были использованы алюминиевые солдатские котелки с зажимавшейся крышкой. Мины были изготовлены, прошли довольно успешно испытания" [23, с. 250]. 23 декабря 1944 г. И.К. Киконину, В.С. Обухову, В.С. Аверкиеву было выдано авторское

¹ Следуя этой информации, шунт на 70000 А должен весить около 1700 кг.



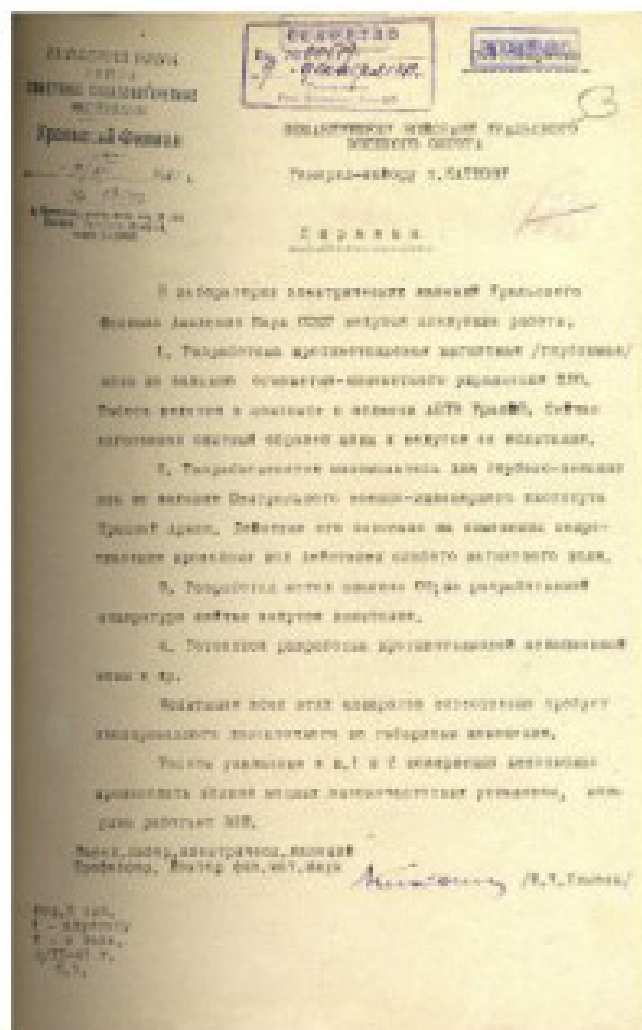
Глубинная противотанковая мина конструкции И.К. Киконина, В.С. Обухова и В.С. Аверкиева.

свидетельство за № 4897с "Глубинная противотанковая мина" [23, с. 253].

Как видно, разработки лаборатории Киконина были достаточно разнообразны, эффективны и востребованы промышленностью. Чтобы у читателя не создалось мнение о чисто прикладном характере работ лаборатории, упомяну и проводимые в ней фундаментальные исследования, обогатившие мировую науку: уникальные исследова-



Справка (взята из авторского свидетельства)
И.К. Киконина, В.С. Обухова и В.С. Аверкиева (25.01.1945 г.).



Справка И.К. Киконина о разработках
лаборатории электрических явлений 06.12.1941 г.
(ЦДООСО Ф_4_оп_31_Д_197_Л_530Щ_02_4_31_197_53).

ования по гиромангнитному эффекту в сверхпроводниках, открытие в 1933 г. фотоэлектромагнитного эффекта Киконина–Носкова, была написана монография Я.Г. Дорфман, И. К. Киконин "Физика металлов" [24]. Вот как сам И.К. Киконин оценивает работу по гиромангнитному эффекту: "Этот эксперимент был не только очень трудным, но и красивым с точки зрения техники исполнения, и я до сих пор горжусь тем, что мы, молодые физики-экспериментаторы 1930-х гг., сумели сделать этот виртуозный опыт, который теперь вошёл как классический во все учебники и монографии. Результаты работы были опубликованы в 1938 г." [19, с. 576]. Фотомагнитоэлектрический эффект Киконина–Носкова — возникновение электрического поля в освещённом полупроводнике, помещённом в магнитное поле.



Василий Сергеевич Аверкиев



Владимир Семёнович Обухов



Строительство Уральского физико-технического института в Свердловске, 1935 г.

В 1943 г. к работам по атомной тематике И.К. Киконным были привлечены только несколько сотрудников лаборатории. Так, Абрам Константинович Киконин вспоминал: *"Брат часто уезжал в Москву, где разворачивались основные работы, но трое сотрудников, оставшихся в Свердловске, упорно работали. Правда, работа эта в конце концов лишь показала, что разрабатывавшийся нами вариант решения задачи при тогдашней технике к цели не ведёт. В 1945 г. брат с семьей окончательно переехал в*



И.К. Киконин и М.М. Носков, конец 1930-х гг.
(см. фотомагнитометрический эффект Киконина – Носкова).

Москву" [25, с. 17]. Абрам Константинович имеет в виду разработку центрифужного метода обогащения урана. Эмигрировавшему в 1933 г. из фашистской Германии и принявшему в 1937 г. советское гражданство немцу Фрицу Фридриху Ланге в вышеупомянутом Распоряжении ГКО № 2352сс от 28 сентября 1942 г. "Об организации работ по урану" предписывалось создать центрифугу для обогащения урана. Третий участник этих работ — Даниил (Даниил) Луквич Симоненко.

Приступая к работе, необходимо было определиться с методом разделения. Д.Л. Симоненко вспоминал [26, с. 146], что *"обсуждалось три метода: диффузионный с применением каскадирования по схеме Герца, центробежный с применением секционированных центрифуг с осевой циркуляцией и, как ни странно, фотохимический метод"* [26, с. 146]. И.К. Киконин: *"В конце концов решили остановиться на трёх методах. Центробежным методом поручили заниматься харьковскому профессору Ф.Ф. Ланге, который занимался этим методом ещё на-*

ходясь в Германии. Электромагнитный метод взял на себя Л.А. Арцимович, который до этого занимался электронной оптикой. Мы с привлечением к этим делам Я.Б. Зельдовичем занялись диффузией" [4, с. 6].

3. Электромагнитный метод разделения изотопов урана

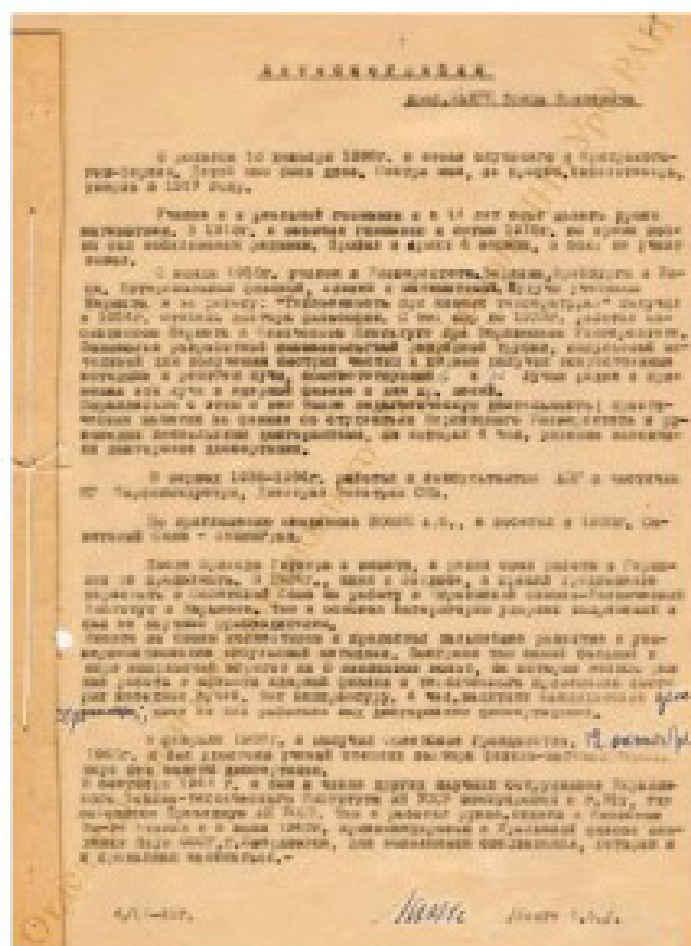
Остановилось немного на электромагнитном методе разделения изотопов урана. В отличие от диффузионного и центробежного методов, в которых коэффициент разделения составляет доли процента, для электромагнитного метода коэффициент разделения теоретически достигает 100 %, но доля потока исходного вещества, участвующего в разделении, мала, т.е. соответственно мала и доля получаемого разделённого вещества [27, с. 11]. Конечно, на практике электромагнитный метод не приводит к полному разделению изотопов, однако *"высокое обогащение достигается в однократной операции"* [28, с. 40]. Функционально и технически этот метод проще, чем диффузионный или центробежный, проблема лишь в его малой эффективности, правда, комбинация методов даёт синергетический эффект. *"Если, например, электромагнитная установка может произвести в сутки один грамм U-235 40 %-ной чистоты из естественного урана, то при повышении концентрации U-235 в исходном материале вдвое против естественной (1,4 % вместо 0,7 %) та же установка сможет производить в сутки 2 грамма U-235 80 % чистоты"* [29, с. 223]. Завод для разделения изотопов урана электромагнитным методом был построен возле северо-уральского посёлка Нижняя Тура (Свердловск-45, ныне г. Лесной) [30, с. 434]. После начала промышленного получения урана-235 90 %-ной чистоты методом диффузии завод в г. Лесном был перепрофилирован на другие задачи.

4. Первые исследования на центрифуге Ланге

У центробежного метода был существенный задел. В 1940 г. группа Ланге поддал заявку на изобретение *"Об использовании урана в качестве взрывчатого и отравляющего вещества"* (17 октября 1940 г. В.А. Маслов и В.С. Шпинель [31]). Вскоре после этого в 1940 г. Ф. Ланге, В.А. Маслов, В.С. Шпинель подали заявку на изобретение *"Способ приготовления урановой смеси, обогащённой ураном с массовым числом 235. Многокамерная центрифуга"*, по которой было выдано авторское свидетельство № 6359с (индекс "с", означающий, что свидетельство



Первое здание Уральского физико-технического института, 1935 г.
Здесь была смонтирована центрифуга Ланге.



Автобиография Ланге. Отдел фондов и информационного обслуживания ЦНБ УрО РАН Ф. 1. Оп. 2. Д. 1114. Л. 1.

было засекречено, появился в 1945 г.) [32]. Не ранее 1 января и не позднее 3 февраля 1941 г. группой Ланге была подана заявка на изобретение "Термоциркуляционная центрифуга" [33]. Если ознакомиться внимательно с указанными документами, то становится понятно, что эти заявки — фактически просто задокументированные и запатентованные идеи, и, как видим, при организации Атомного проекта СССР правительство об этих заявках вспомнило.

Изготовлением центробежной машины в Уфе в 1943 г. руководил И.К. Киконин. Уже на этапе сборки ему пришлось вносить усовершенствования в конструкцию (при первичных испытаниях из-за больших нагрузок (вибрация) подшипники и крутящие валы на больших оборотах выходили из строя). Так, перешли от шариковых к скользящим подшипникам, усовершенствовали систему принудительной смазки, наладили постоянный контроль температуры подшипников, провели очень тщательную балансировку конструкции, изготовили конструкции с несколькими вариантами диаметра валов.

В записке И.В. Курчатова М.Г. Первушину об испытаниях центрифуги 29 апреля 1943 г. [34, с. 344] приводится отчет И.К. Киконина: "Считаю необходимым отметить, что профессор Ланге весьма легкомысленным образом информировал нас о проделанной им работе. Никаких абсолютно экспериментов на какой-либо модели проделано не было... Детали машины носят печать непродуманности, в частности, меня весьма беспокоит система уплотнений на вакуум, которая не испытывалась даже в покоящемся состоянии. При наличии колоссальных центробежных сил во вращающейся машине дело суще-



Ф. Ланге (слева) и А. Брам 1930 г.
https://www.biblioatom.ru/persons/lange_fritz/#gallery.

ственно усложнилось. Кое-что мы пытались испробовать на месте, остальное придется доделывать здесь".

Ф.Ф. Ланге привёз в Свердловск, в лабораторию Киконина изготовленную на Уфимском авиационном заводе центрифугу, спроектированную им специально для экспериментальных работ по разделению изотопов в газовой фазе. Центрифуга, весящая около тонны, была смонтирована на специальном фундаменте в подвальном помещении института. Из воспоминаний Д.Л. Симоненко [26, с. 138]: "Весной 1943 г. в лабораторию электрических явлений УФАИ, возглавляемую И.К. Кикониным, был прикомандирован Ф.Ф. Ланге, который появился в УФАИ несколько необычным способом. Утром к главному подъезду здания УФАИ подъехала грузовая машина. Три солдата и один мужчина в гражданской одежде восседали в открытом кузове машины на каких-то ящиках. Один из солдат, соскочив с машины, прошёл внутрь здания УФАИ



Ф. Ланге в лаборатории
https://www.biblioatom.ru/persons/lange_fritz/#gallery.

и быстро возвратился. После этого солдаты начали разгружать машину — тяжёлые ящики и несколько чемоданов были выброшены на цветочную клумбу. Из кабины вышла женщина — она тащила какие-то сумки, свертки. Солдаты откозыряли мужчинам в штатском, вскочили на машину и уехали. Оставшиеся мужчины и женщина перенесли чемоданы под сосны, устроились, развернули сумки и начали завтракать. Меня вызвали в дирекцию УФАИ и сообщили, что кон там, у подъезда, находится профессор Ланге, он прибыл из Уфы и привёз с собой часть научного оборудования. Мне поручалось устроить Ланге и его супругу на временное жительство в одной из небольших лабораторных комнат. В тот же день все ящики были перенесены в лабораторию и вскрыты. В ящиках были упакованы основные детали центрифуги для разделения изотопов.... Как вышло, эта машина ещё ни разу не была собрана и не проверена в действии". Из записки И.В. Курчатова народному комиссару химической промышленности М.Г. Первухину 1 апреля 1943 г. [35]: "Профессор Ланге не имеет сейчас ни одного сотрудника, и Лаборатория № 2 выделяет ему для ускорения работ двух сотрудников Киконина — ггг. Симоненко и Полякова..."

Отчёт И.К. Киконина И.В. Курчатову о результатах командировки в Свердловск и состоянии работ по центрифуге и диффузионной установке 21 сентября 1943 г. [36, с. 391 – 393]: "Необходимо констатировать, что сделано за истекший период слишком мало. Профессор Ланге прибыл в Свердловск 17 июля с.г., таким образом, к моменту моего приезда он совместно с ггг. Симоненко работал около двух месяцев. Между тем, машина центробежного разделения ещё ни разу не пускалась в ход. Больше того, не была проверена система уплотнений. При сравни-

тельно большом числе переделок, которые явно были необходимы и которые не сделаны, такой квалифицированный механик как ггг. Поляков не был загружен работой". "...вынужден был признать состоявшие работы совершенно неудовлетворительным. В связи с этим пришлось переделать направление и характер работы". В течение восьми дней нахождения Киконина в Свердловске ситуация изменилась к лучшему: "Уплотнение на впуске и выпуске газа в центрифугу, т.е. в местах, где уплотняется система концентрических цилиндров, испытано в статическом состоянии и при небольшом числе оборотов машины. Система уплотнений после реконструкции гд, произведённой при помощи ггг. Полякова, работает вполне удовлетворительно". "Конструкторы ггг. Аверкиев и Бардин в настоящее время приступили к составлению эскизного проекта небольшой установки с парными мембранами". В результате центрифуга была запущена, и осенью 1943 г. Ф.Ф. Ланге и Д.Л. Симоненко провели на центрифуге более 20 опытов. В качестве модельных смесей ими использовались смеси водорода с воздухом и воздуха с углекислым газом. Д.Л. Симоненко вспоминает: "К весне 1944 г. мы провели уже достаточно большое число опытов, но получить устойчивую циркуляцию газа и повторяющиеся данные по обогащению не удавалось; получались совершенно случайные цифры, по которым нельзя было сделать каких-либо заключений" [26, с. 150].

5. Помощь советской разведки

Существенную помощь в "организации работ по урану" оказала советская разведка. По версии Владимира Матвеевича Чикова (все не отмеченные ссылками цитаты из этого абзаца приведены из книги В. Чикова "Русские нелегалы в США" [37]) к изучению данных, полученных разведкой, из учёных был привлечён только И.В. Курчатов, который, осознавая всю меру ответственности (предполагалось, что часть данных могла быть ошибочной или специально подброшенной американскими спецслужбами дезинформацией), попросил допустить к разведданным И.К. Киконина и своего брата Б.В. Курчатова. Как вспоминает Ю.Б. Харитон, Курчатов очень критически относился к материалам разведки: "Он сомневался, отражают ли полученные материалы действительный ход научно-исследовательской работы", предполагал, что они могут оказаться "вымыслом, задачей которого является дезинформация нашей науки" [38, с. 135]. И.В. Курчатов был удивлён, что "методу центрифугирования для разделения изотопов западные учёные предпочли диффузионный метод" [38, с. 135]. Разведданные, поступавшие от разведчиков (агент Чарльз — доктор Эмиль Юлиус Клаус Фукс, агент Персей — Артур Филдинг), необходимо было перепроверить с целью определения их "объективности и достоверности источников". Проверкой занималась группа Киконина. В отзыве Киконина от 27 июля 1944 г. о материалах, полученных от разведки и связанных с газодиффузионным методом разделения изотопов, говорится: "Мы сами занимались этим вопросом и пришли к аналогичным выводам". Клаус Фукс в "Манхэттенском проекте" занимался разработкой газодиффузионного способа разделения изотопов урана, который был принят в качестве промышленного в Англии и США. Конечно, разведданные значительно ускоряли процесс. Так,



Даниел (Данниел) Луквич Симоненко

И.К. Киконя пишет: "Расчёт, сделанный в этой работе, весьма остроумен и может быть использован при детальном конструировании машины. ...Эта последняя работа имеет наибольший интерес, ибо даёт представление о производственной схеме разделительного завода". В записке от 7 марта 1943 г., посвящённой анализу данных, предоставленных советской разведкой, И.В. Курчатов писал: "Наиболее ценная часть материалов относится к задаче разделения изотопов. 1. Единственно рациональным путём её решения признаётся разделение изотопов при помощи диффузии через мембрану с мелкими отверстиями. Предпочтение методу центрифугирования для наших физиков и химиков явилось неожиданным. У нас была распространена точка зрения, согласно которой возможности метода центрифугирования стоят значительно выше возможностей метода диффузии, который считается практически неприменимым для разделения изотопов тяжёлых элементов. В соответствии с этой точкой зрения сначала при постановке работ по проблеме урана предусматривались исследования только центрифугой (метод Ланге)" [39, с. 314]. За то, что советский Атомный проект не являлся слепым копированием американского, говорит тот факт, что метод центрифугирования, как более энергетически экономичный, не отбрасывался и, несмотря на то, что он технически сложный, был доведён до ума. Так, первую продукцию заданной концентрации урана-235 ОЦЗ УЭХК (опытный центрифужный завод Уральского электрохимического комбината) стал выдавать с 15 января 1958 г. [40]. Разделение изотопов в СССР в дальнейшем перешло на этот метод.

6. Начало работ по Атомному проекту в Свердловске

12 апреля 1943 года, на основе решения Государственного Комитета Обороны Академия наук приняла постановление о создании новой Лаборатории № 2 под руководством Курчатова. Пока у Лаборатории не было собственных помещений учёные, привлечённые в Атомный проект, работали на своих "старых" рабочих местах, формально числясь прикомандированными от Лаборатории № 2 к своей бывшей работе.

Из объяснительной записки И.В. Курчатова к плану работ Лаборатории № 2 на второе полугодие 1943 г.: "К концу 1943 г. Лаборатория № 2 предполагает: 1. Разделить изотопы урана и получить при помощи ультрацентрифуги несколько миллиграммов урана-235. ...3. Провести опыты и расчёты, необходимые для конструирования диффузионной машины для разделения изотопов" [41, с. 386]. В самом плане работ указано, что по пункту 1 работают Киконя, Ланге, Симоненко. Пункт 3 исполняют Киконя, Поляков.

Этот пункт конкретизирован: "а) выбор и исследование физико-химических свойств рабочей жидкости — 1 сентября 1943 г.; б) выбор и расчёт основных размеров машины — 1 октября 1943 г.; в) разработка метода получения сеток для модели диффузионной машины — 1 декабря 1943 г.". В отчёте И.К. Киконя И.В. Курчатову о результатах командировки в Свердловск и состоянии работ по центрифуге и диффузионной установке от 21.09.1943 г. [36, с. 392] говорится, что "опыты по диффузионному методу разделения во время моего отсутствия не велись ввиду загруженности т. Симоненко работой на центрифуге".

Об уровне секретности можно судить по воспоминаниям сотрудника ИФМ УрО РАН Павла Акимовича Халилеева [42, с. 19], привлечённого к работе по разделению изотопов урана через несколько лет в январе 1947 г. "О нём [Фрице Ланге] я знал очень мало. Слышал, что он бежал из Германии от Гитлера ещё задолго до войны, работал в Харькове. Затем во время войны его эвакуировали вместе с Харьковским ФТИ куда-то в Среднюю Азию, а в 1943 г. Киконя забрал его к себе, в Свердловск, устроил ему в подвале лабораторию, куда вход посторонним был строго запрещён, так как Фриц вёл очень секретную работу. (Много лет спустя я узнал, что Фриц разрабатывал в своём подвале центрифугу для разделения изотопов (увы, безуспешно))".

В сентябре 1945 г. И.К. Киконя в докладе "О разделении изотопов урана" на заседании Технического совета Специального комитета при ГКО привёл "краткий обзор методов разделения изотопов", проведённых в Лаборатории № 2 АН СССР. О методе центрифугирования в докладе говорилось [43, с. 370]: "В 1943 г. на заводе № 26 НКВД (в г. Уфа) была построена опытная центрифуга по методу Ланге (центрифуга с "противотоком") и в том же году была установлена в лаборатории Киконя в Уральском филиале Академии наук СССР, в Свердловске. В течение почти двух лет при участии профессора Ланге на ней велись опыты по разделению газовых смесей с целью изучить свойства такой центрифуги и в надежде получить на ней малые количества обогащённого лёгким изотопом урана". "Но ввиду сложности и капризности этого метода, и, главным образом, ввиду малой производительности, которой можно ожидать от такой установки (около 0,01 г в сутки на метр длины), мы решили отказаться от промышленного осуществления такой машины". Из вышеприведённых документов следует, что Киконя был не очень доволен Ланге. Халилеев вспоминает время (1943–1944 гг.), когда Ланге и Обухов работали ещё в Свердловске [42, с. 19]: "Владя Обухов по своей привычке рассказывал мне, что у Ланге с Киконей произошла ссора, что они крепко постылись и поссорились. А после этой ссоры Ланге, взволнованный, ходил взад-вперед по своей комнате и громко разговаривал сам с собой. Этот разговор Обухов отчётливо слышал через неплотно закрытую дверь, соединявшую их комнаты. Суровость словосочетаний Ланге сводилась к самобичеванию: — Я напрасно так резко спорил с Киконей. Мне нужно было идти на уступки. Ведь я так много ему обязан, он меня спас от всех бед. И работу нужно продолжать, при успехе это будет такая помощь Советам и такая дуля Гитлеру!" Но основная причина отказа "от промышленного осуществления" центрифуги Ланге была не во владении Фрицом Фрицовичем "благородным искусством — портить отношения с начальством" (такое высказывание В.П. Насонов даже вынес в заголовок своей статьи о Фрице Ланге [44]), а в том, что стало понятно, — трудностей у центрифужного метода больше, чем у диффузионного, и требуемый быстрый результат им не получить.

Однако полностью работы по методу центрифугирования закрыты не были. Из доклада ПГУ И.В. Сталину "О состоянии работ по получению и использованию атомной энергии" от 17.01.1946 г. в разделе "Организация новых лабораторий" [45, с. 418]: "Специальным комитетом принято решение организовать в 1946 г. следующие лаборатории со специальными задачами в области

использования атомной энергии 2. Лабораторию № 4 (под руководством профессора Ланге) — для разработки метода обогащения изотопа урана-235 с помощью центрифугирования».

Из записки от 4.01.1944 г. И.К. Киконина и А.И. Алиханова М.Г. Первухину (заместитель председателя Совета Народных Комиссаров СССР, нарком химической промышленности, куратор создания советской атомной бомбы со стороны Совета Народных Комиссаров СССР): «Состояние проблемы разделения изотопов Урана» [46, с. 339]: «Проблема изготовления сеток является одной из решающих для сооружения большой установки. ... Нам представляется необходимым организовать группу людей, специально работающих над этой проблемой. Мы сейчас заняты подысканием соответствующих работников. Хотел нужно заметить, что специалисты в этой области нам сейчас не известны».

В справке И.В. Курчатова «О состоянии работ по проблеме на 27 ноября 1943 г.», представленной М.Г. Первухину [47, с. 405] говорится: «Независимо от ЦАГИ, лаборатория в Свердловске (т. Киконин) выполняет упрощенную модель диффузионной машины. В данный момент ведутся проектные работы и ведётся изготовление отдельных узлов». Уже в конце 1943 г. группа Киконина приступила к исследованиям единственного газообразного соединения урана при относительно низких температурах: «Первая небольшая порция гексафторида урана в количестве 100 г была по просьбе И.К. Киконина синтезирована в конце 1943 г. в Радиовом институте, возглавляемом профессором В.Г. Хлопшиным. Получив это вещество, И.К. Киконин ещё в Свердловске с помощью своих сотрудников Д.Л. Симоненко, В.С. Обухова, и В.Н. Тюшиной провёл детальное исследование основных его физических свойств, которые необходимо знать для осуществления диффузионного процесса. Это зависимость упругости пара от температуры, теплоёмкость, вязкость, скорость звука» [4, с. 14]. «Было показано, что тройная точка гексафторида урана, где сходятся три фазы (газовая, жидкая и твёрдая), находится при температуре 64°C и давлении около 1,5 атм. При давлении ниже 1 атм и температуре ниже 56°C пары гексафторида урана по своим свойствам близки к идеальному газу и могут быть сконденсированы в твёрдую кристаллическую фазу» [4, с. 14]. Добавлю информацию про высокую химическую агрессивность гексафторида урана, создавшую немало трудностей при разработке газодиффузионной технологии разделения изотопов урана.

«Он реагирует почти со всеми химическими элементами и, отдав часть своего фтора, превращается в устойчивое твёрдое соединение — тетрафторид урана. Гексафторид урана реагирует с водой, образуя агрессивную плавиковую кислоту, не терпит органических соединений и масел. Другие продукты реакций гексафторида урана образуют твёрдые коррозионные отложения на поверхностях оборудования» [4, с. 15].

«Мы, — вспоминает Д.Л. Симоненко, — не представляли, сколько технических трудностей будет связано со свойствами паров этого соединения: способность реагировать с металлическими поверхностями, с парами воды, разлагаться, оседать на стенках в виде нелетучих соединений и пр. Было известно, что для работ с ним необходимо иметь вакуумно-плотную аппаратуру с хорошо обезжиренными поверхностями» [4, с. 40].

7. Пористые фильтры

Одним из основных элементов газодиффузионной технологии являются пористые фильтры, в которых осуществляется процесс разделения изотопов. Более лёгкие атомы легче проходят через поры фильтра, и на выходе газовая смесь обогащается лёгкой фракцией. Таким образом, коэффициент обогащения, разделительная производительность диффузионных машин, длительность их ресурса, экономичность метода определяются качеством пористых фильтров. И.К. Киконин: «Фильтры сделал опытный механик Иван Николаевич Поляков. Они были сделаны из медной фольги толщиной в несколько сотых мм, наколоты тонкой иглой» [4, с. 8]. В 1944 г. «механиком-умельцем И.Н. Поляковым была сконструирована машина-автомат, пробивающая отверстия в тонкой медной фольге (0,2 мм)» [4, с. 17]. Средний диаметр пор должен быть как можно меньше, чтобы приблизиться к теоретическому пределу разделения изотопов урана (максимальный коэффициент обогащения на фильтре равен $4,3 \times 10^{-3}$), поэтому вскоре от механического принципа изготовления фильтров пришлось отказаться.

8. Перенос работ из Свердловска в Москву

В 1945 г. научная группа сотрудников И.К. Киконина была переведена из Свердловска в Москву в Лабораторию № 2 АН СССР (впоследствии Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова). Из доклада ПГУ И.В. Сталину «О состоянии работ по получению и использованию атомной энергии» от 17.01.1946 г. [45, с. 415]: «Лаборатория № 2 работает над следующими вопросами: ... 2. Над разработкой промышленного метода получения урана-235 диффузионным методом, над проектированием и конструированием установок по этому методу. Работу возглавляет член-корреспондент Академии наук СССР профессор И.К. Киконин и член-корреспондент профессор И.Н. Вознесенский. В работе принимают участие академик С.Л. Соболев, старшие научные сотрудники Д.Л. Симоненко, В.С. Обухов...».

В 1948 г. Владимир Семенович Обухов становится начальником сектора пористых перегородок в Лаборатории № 2. «Сектором № 2 (И.К. Киконин, В.С. Обухов, В.Х. Волков, К.В. Глинский, В.Н. Тюшиная и др.) совместно с МКТС была разработана технология изготовления плоских фильтров в виде пористых пластин из мелкодисперсного порошка с формированием заготовки в пресс-форме, установленной на вибростенде, с последующим спеканием. Первые такие фильтры были получены и испытаны в конце 1945 г. В начале 1946 года был объявлен закрытый конкурс на создание плоских фильтров по техническим условиям, разработанным Сектором № 2. Было опробовано параллельно шесть направлений разработок. Наиболее удачным оказался упомянутый выше вариант, разработанный под руководством И.К. Киконина. Он и был принят для производства на МКТС (МКТС — Московский комбинат твёрдых сплавов). Все машины первого диффузионного завода Д-1 были оснащены этими фильтрами. ... Из соображений секретности плоские фильтры назывались «картами» (по размерам они были близки к игровой карте). Характеристики этих фильтров с 1946 г. определялись в отделе «Д» (президент Сектора № 2), в секторе В.С. Обухова. На эксперименталь-

ной установке, изготовленной в механических мастерских по чертежам КБ отдела "Д", К.С. Панюхиной и В.С. Обуховым был впервые исследован первичный эффект разделения на небольших образцах плоского фильтра." [4, с. 17]. В дальнейшем были разработаны более совершенные трубчатые фильтры. "Первые обстоятельные исследования трубчатых фильтров в отделе Н.К. Кискина были проведены в середине 1948 г. коллективом, в который входили С.С. Шалыт, В.С. Обухов, М.Н. Сагалович, К.В. Глинский, Б.В. Жигаловский, Б.Н. Демисов. В результате были подтверждены существенные преимущества трубчатых фильтров, намечены пути их совершенствования и выданы рекомендации о применении их в диффузионных машинах второго поколения. Кроме повышения разделительных свойств, трубчатые фильтры позволили существенно упростить конструкцию деталей — сделать их более компактными и удобными для монтажа" [4, с. 19]. Ниже помещён фрагмент Приложения №2 Постановления СМ СССР 1127-402сс/ой "О плане специальных научно-исследовательских работ на 1948 год" [51]. Согласно плану работ, на 2-й квартал 1948 г. была запланирована разработка трубчатых фильтров с малыми порами и опыты с ними на 20-ступенчатом каркасе [51, с. 415].

До 1952—1953 гг. В.С. Обуховым продолжались исследования, направленные на совершенствование пористых фильтров. Вот как это вспоминает П.Е. Суегин в статье "У истоков атомной проблемы" [52]: "Через неделю мы прошли на территорию лаборатории и попали в отдел приборов теплового контроля (ОПТК), который в то время возглавлял профессор И.К. Кикоин. Нас распределили по разным объектам ОПТК. Я попал в отдел, руководимый профессором В.С. Обуховым, которого в Москву, в лабораторию, привёз И.К. Кикоин с Урала из УФА. На ещё в 1944 году. Владимир Семенович предложил мне заняться изучением сопротивления трубчатого диффузионного фильтра в зависимости от величины потока газа через его пористую стенку. Оговорили схему экспериментальной установки. В кабинете моего руководителя мне поставили чертёжный стол, на котором я в течение месяца чертил чертеж установки. В это время я познакомился со многими участниками диффузионного проекта, которые часто заходили в кабинет Владимира Семеновича. Это теоретики проекта — С.Л. Соболев, М.Э. Миллоницкий, Я.А. Смородинский, экспериментаторы Д.Л. Симоненко, И.А. Савельев... После изготовления чертежей установки они были сданы в цех. Надо сказать, что при лаборатории имелся большой механический цех, оснащённый всеми необходимыми станками и обслуживаемый высококвалифицированными мастерами. ...Изготовление установки задерживалось, так как много принципиальных проблем диффузионного разделения было решено или решалось уже на заводе в Верх-Исетском (Свердловск-44) на Урале. ...Знакомиться с другими работами лаборатории, можно сказать, не приветствовалось. Так, например, я плохо знал темы дипломных работ моих друзей-дипломников. Не принято было не только обсуждать свои работы с людьми, не имеющими к данной теме непосредственного отношения, но и посещать соседние кабинеты. Был в лаборатории и мини-завод, состоящий из нескольких десятков машин ОК-6, составляющих модель каскада, доступ на который был строго ограничен и охранялся отдельным часовым. На этот завод я попал в 1955 г., когда там уже стояли центрифуги. Наконец, в январе 1951 года установка была изготовлена, и мы приступили к опытам. Экспериментальные исследования, как это часто бывает, велись совсем по другому направлению. Дело в том, что газ, проходящий через пористую стенку, около её поверхности обедняется лёгким изотопом (уран), что снижает эффективность разделения. Необходимо организовать интенсивное перемешивание газа внутри цилиндрической трубки. Естественная турбулентность для этого недостаточна. Было предложено улучшить газовое перемешивание, помещая внутри трубки проволочную спираль по всей длине трубки диаметром, равным внутреннему диаметру разделительной трубки. Следовало экспериментально найти оптимальные размеры этой спирали, т.е. диаметр проволоки, из которой сделана спираль, и шаг спирали. ...Опыты проходили на модельном газе — гексафториде серы, что облегчало анализ, так как один из изотопов серы был бета-активным. Работали много, не считаясь со временем и праздниками. Да и отвлекаться нам было не на что (семьи находились в Свердловске) — несмотря на то, что работали с газообразной серой, никаких особых мер по безопасности не принималось. Вся безопасность гарантировалась кружкой молока и бесплатным обедом. ...16 мая 1951 года в кабинете у И.К. Кикоина

Поступило в СМ СССР № 1117-400х/м
«О плане специальных научно-исследовательских работ на 1948 год»

r. Minerva, Egerate

6 August 1988
 C. C. C. C. C.
 (C. C. C. C. C.)

[illegible]

Приложение № 2 Постановления СМ СССР 1127-462сс/оп
"О плане специальных научно-исследовательских работ на 1948 год"
(фрагмент) [31].

состоялась защита дипломных работ. ...В Государственной экзаменационной комиссии присутствовали И.К. Киконин — председатель, члены: Л.А. Аризонич, Н.А. Доллежал, С.Л. Соболев, М.Д. Мыльницкий, В.С. Обухов, Я.М. Сморodinский и др."

9. Вопрос рецензента

Рецензент задал интересный и непростой вопрос, заставляющий взглянуть на эпопею с обогащением урана с другой стороны. "Поскольку плутониевая бомба у нас была создана и испытана на 2 года раньше урановой, то какие причины (физические, экономические, политические и др.) заставляли страну заниматься труднейшей проблемой разделения изотопов урана?" У урана-235 и плутония-239 разные физические характеристики, и, испытывая ядерные заряды на основе только одного плутония-239, учёные имели бы меньше экспериментальных данных о процессах, происходящих при ядерном взрыве.

Поэтому я считаю, что испытание бомб с ураном давало больше информации и позволяло лучше теоретически описывать и, соответственно, понимать процессы деления ядра. Кроме этого, комбинирование плутониевых и урановых зарядов позволяло расширить характеристики разрабатываемых ядерных зарядов. Ясно, что если бы не создали термоядерные бомбы, то для увеличения диапазона, например, по мощности взрыва применяемых ядерных бомб, создавали бы урановые, плутониевые и комбинированные ядерные заряды. Но в 1951 г. начали разрабатывать термоядерные устройства. РДС-6с — первая советская водородная бомба, так называемая "слойка Сахарова". (Работы по созданию бомбы начались в 1950 г., испытана на Семипалатинском полигоне 12 августа 1953 г.). Один из слоёв РДС-6с состоял из урана-235. О том, что на западе разрабатывается водородная бомба, в конструкцию которой входит "уран-235 40 % чистоты в количестве 71 кг" [7, с. 247], в СССР знали с 1948 г. из разведывательных материалов, переданных Клузом Фуксом. Таким образом, основная необходимость создания высокообогащённого урана-235 состоит в использовании урана-235 в качестве компонента термоядерной бомбы.

Поскольку нейтронный фон плутония существенно больше, чем у урана-235, его переход в надкритическое состояние без неполного взрыва требует очень быстрого кумулятивного сферически симметричного обжатия, в отличие от урана-235, перевод которого в надкритическое состояние можно осуществить пушечным методом.

Другим фактором, определяющим необходимость получения обогащённого урана, является его использование в исследовательских реакторах. Если в промышленном уран-графитовом РБМК (Реактор Большой Мощности Канальный) обогащение по урану-235 не превышает 3,2 %, то в исследовательских реакторах обогащение по урану-235 может достигать 90 %. Так, В.В. Гончаров вспоминает: "В 1957–1958 гг. для расширения фронта исследовательских работ по атомной энергетике, проводившихся под руководством автора, реактор РФТ был реконструирован". "Для реконструированного реактора были разработаны теплоделяющие элементы новой конструкции с сильно развитой поверхностью охлаждения и ураном, обогащенным изотопом-235 до 90 % (вместо 10 %)" [53, с. 235].

Как на этот вопрос смотрели учёные и правительство в 1951 г., можно понять из доклада И.В. Сталину за подписью Л.П. Берия, Б.Л. Валикова, А.П. Завенягина, И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона и К.И. Щелкина "О ходе выполнения заданий на 1951 г. и о программе работ по развитию атомной промышленности в 1951–1955 гг." от 16 ноября 1951 г. [54, с. 342]. Из документа из соображений секретности до сих пор изъяты некоторые данные, но и того, что осталось, достаточно для прояснения картины. "В связи со значительно большей мощностью испытанных в 1951 г. изделий РДС-2 (с зарядом из (...) плутония и общим весом 3,1 т) и РДС-3 (с зарядом из (...) урана-235 и (...) плутония) выпуск изделий РДС-1 прекращён и приступлено к производству РДС-2 и РДС-3. В 1952 году будет изготовлено 40 изделий РДС (в том числе 24 РДС-2 и 16 РДС-3). Изготовленные до 1 ноября 1951 г. 29 изделий РДС-1 будут переделаны в изделия РДС-2 (из них 19 в 1952 году и 10 в первом полугодии 1953 г.)" [54, с. 342]. "Успешные результаты испытаний изделий РДС-3 с составным зарядом из урана-235 и плутония показали необходимость расширения производства урана-235. В связи с этим принято решение построить второй диффузионный завод производительностью 600 кг урана-235 в год. Новый диффузионный завод будет дублировать комбинат №813 и будет построен в составе комбината №816" [54, с. 348]. "Производство урана-235 (75 %-ой концентрации) составит в 1951 г. 77 кг, в 1952 г. — 152 кг, в 1953 г. — 600 кг, а всего за пятилетие 1951–1955 гг. — 1242 кг. В настоящее время уран-235 производится на комбинате №813, в составе которого действует один диффузионный завод и строится второй. Общая мощность обоих заводов комбината №813 составит 600 кг урана-235 в год. На первом заводе работает 9880 диффузионных машин. Второй завод будет введён в действие во втором полугодии 1952 г. Всего на комбинате №813 будет работать 15800 диффузионных машин" [54, с. 347]. В этом же докладе [54, с. 344] говорится о преимуществах урана-235 по сравнению с плутонием: "По предварительным расчётам КБ №11, атомный заряд такого изделия РДС должен состоять из (...) урана-235 с небольшой добавкой (...) плутония. Возможность применения в атомных зарядах больших количества урана-235 объясняется тем, что в отличие от плутония уран-235 имеет малый нейтронный фон". Говорится там и о возможных трудностях: "Разработка заряда весом в (...) урана-235 потребует выполнения большой работы по дополнительному изучению ядерных свойств урана-235 и сложной разработки конструкции атомного заряда изделия".

10. Уральский электрохимический комбинат

Выше был упомянут завод по разделению изотопов урана (Уральский электрохимический комбинат или комбинат №813), построенный в г. Свердловске-44 неподалёку от посёлка Верх-Нейвинский. В рамках одной статьи невозможно подробно охватить ещё и этот кусок истории. Упомяну лишь несколько фактов. Ю.М. Каган: "И.К. Киконин ещё в 1945 г. выбрал площадку для строительства диффузионного завода на Урале, в 60 км от Свердловска" [55, с. 13]. И.К. Киконин являлся одним из создателей комбината, руководил пусконаладочными работами в 1948–1949 гг., а с 1949 г. по 1953 г. являлся заместителем директора комбината по научной

работе. Для интенсификации работ по запуску диффузионного завода 22 мая 1948 г. И.К. Киконин назначают *"научным руководителем и заместителем директора Государственного машиностроительного завода"* (имеется в виду Уральский электрохимический комбинат в г. Свердловск-44) [56, с. 472].

11. Павел Акимович Халилеев

Павел Акимович Халилеев защитил кандидатскую диссертацию под руководством И.К. Киконина в 1936 г.

С 1937 г. занялся магнитной дефектоскопией, в 1946 г. получил Сталинскую премию третьей степени за разработку новой аппаратуры для обнаружения затонувших кораблей. При помощи *"морского магнитного пеленгатора"* в конце Великой Отечественной войны и в первые послевоенные годы были обнаружены и подняты более 130 немецких и наших затонувших или затопленных кораблей. Это была вторая Государственная премия, полученная сотрудниками института. А в мае 1947 г. П.А. Халилеев был переведён на завод №813 в г. Свердловск-44 руководителем физического сектора центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) Уральского электрохимического комбината, а позже возглавлял созданную 3 мая 1954 г. лабораторию газовых центрифуг. В 1961 г. за *"разработку и освоение центрифужного метода разделения изотопов урана"* П.А. Халилеев (совместно с М.Д. Миллионщиковым, В.И. Сергеевым, Х.А. Муриinsonом, Е.М. Каменевым, К.В. Глинским, Б.С. Чистовым, М.Л. Райхманом) был отмечен Ленинской премией [57, с. 143].



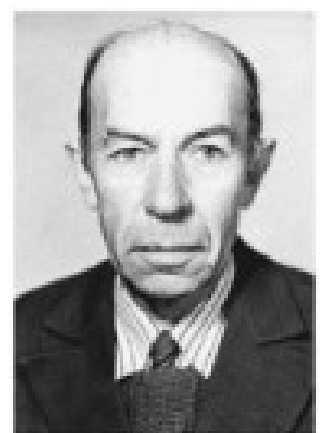
П.А. Халилеев на испытаниях магнитометра (*"морского магнитного пеленгатора"*) 1945–1946 гг.



П.А. Халилеев после получения Сталинской премии (Государственной премии СССР), 1946 г.



П.А. Халилеев. Удостоверение лауреата Государственной премии.



Павел Акимович Халилеев

12. Поездка в Берлин в мае 1945 года

Хочу остановиться ещё на одном эпизоде нашей истории, связанной с Атомным проектом, — поездке "трофейной команды" учёных-ядерщиков в начале мая 1945 г. из Москвы в Берлин. Этот эпизод основывается на воспоминаниях И.К. Киконина, Ю.Б. Харитона и Д.Л. Симоненко и достаточно хорошо описан, поэтому здесь будет изложен только тезисно.

Возглавлял группу "трофейщиков" заместитель Наркома внутренних дел генерал-полковник Авраамий Павлович Завенягин, который был назначен 8 декабря 1944 г. (постановление ГКО № 7102сс/ов о форсировании геологоразведочных работ по урану) ответственным за поиск урана в СССР и на оккупированных территориях.

Все учёные временно превратились в советских офицеров. Так, И.К. Киконин и Ю.Б. Харитон получили мундиры с погонами полковника, а Д.Л. Симоненко был в звании майора.

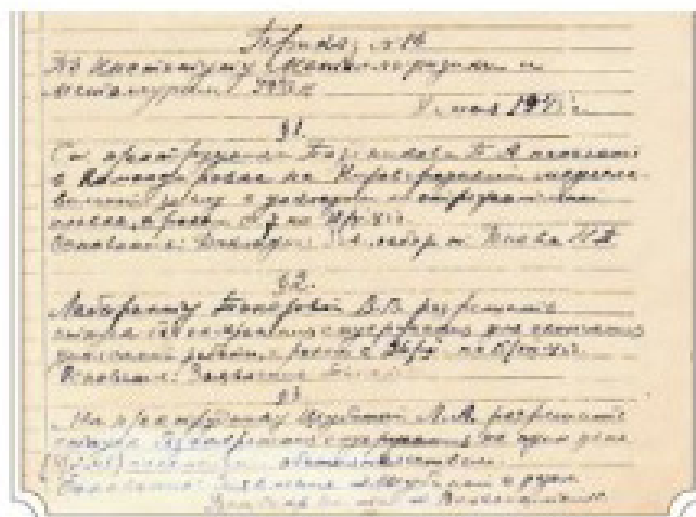
Вот как Симоненко об этом вспоминает: «На следующий день (6 мая) я был свидетелем того, как И.К. Киконин надевал обмундирование полковника. Странно и необычно было видеть его с погонами. "Поеду в Германию", — сказал он, но куда точно и зачем, оставалось неясным. На следующий день (7 мая) И.В. Курчатов сказал мне по телефону: "Завтра ты должен получить обмундирование и с группой товарищей отправиться в Берлин". "Зачем?" — как-то нехотя спросил я. Это, по-видимому, разозлило И.В. Курчатова. Он весьма внимательно сказал: "Как это зачем? Ты хочешь работать в оборудованной лаборатории? Так вот, поезжай и добудь всё, что тебе нужно. Понял? Сообразить надо! Сейчас же иди к полковнику П.В. Худякову"» [58, с. 660].

За 45 суток пребывания в Германии командой "трофейщиков" было сделано многое. Так, Д.Л. Симоненко участвовал в мероприятиях по доставке в СССР обнаруженных в Германии запасов оксида урана и огромного магнита для циклотрона, изъятых у М. Арденне. Добытое оборудование и материалы, конечно, крайне пригодились для создаваемого с нуля Атомного проекта, но наиболее ценными были "добытые" путём чуть ли не детективного поиска И.К. Киконина и Ю.Б. Харитона 130 тонн оксида урана U_2O_8 [59, с. 120].

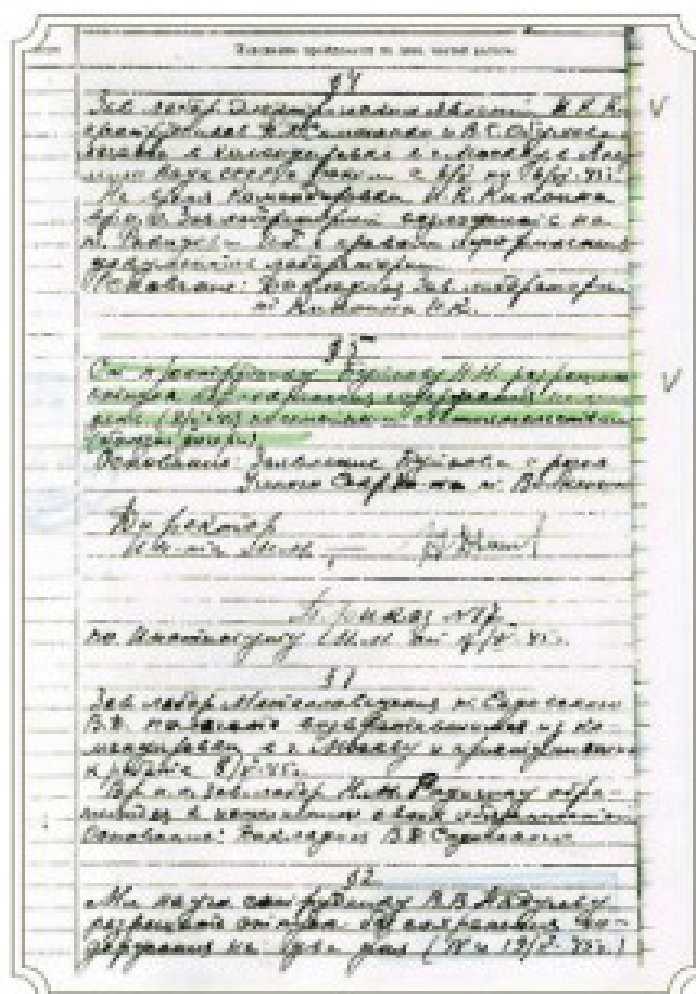
Как поняли из добытых отчётов по немецкому Атомному проекту И.К. Киконин и Ю.Б. Харитон, немцы значительно отставали от СССР.

Поэтому "Мы решили с Кикониным, — вспоминал Ю.Б. Харитон, — что надо заняться другим делом. Поскольку немцы заняли практически всю Европу, они находились также и в Бельгии. Как всем хорошо известно, в бельгийской колонии в Африке — Конго крупные залежи урана, и поэтому очень вероятно, что какое-то количество урана немцы захватили в Бельгии и надо искать, где же этот уран находится. Ну вот мы и начали работать... О необходимости поиска урана мы сообщили А.П. Завенягину, он горячо поддержал это. Выделил в наше распоряжение машину с водителем, чтобы мы могли свободно по Германии ездить" [60].

Юлий Борисович Харитон вспоминал: "Курчатов как-то сказал мне, что найденный в Германии уран примерно на год сократил срок пуска первого промышленного реактора для наработки плутония" [59, с. 121].



Приказ № 16 от 8 мая 1945 г. (страница 1) за подписью Н.В. Демисенко.



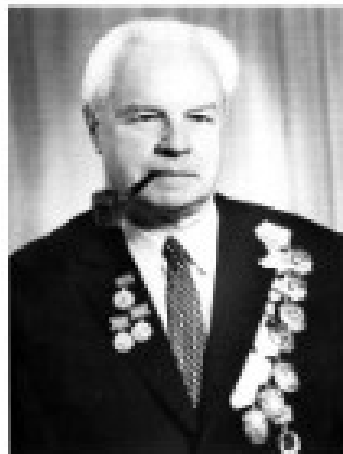
Приказ № 16 от 8 мая 1945 г. (страница 2) за подписью Н.В. Демисенко. Пункт 4: отправка И.К. Киконина, Д.Л. Симоненко и В.С. Обухова в Москву. Как оказалось, командировка была в Германию, о поездке "трофейной команды" учёных-ядерщиков см. раздел 12.

13. Второй десант свердловских учёных в Атомный проект

В 1949 г. в Атомный проект в г. Свердловск-44 на Уральский электрохимический комбинат был привлечён очередной десант сотрудников Института физики металлов Уральского филиала Академии наук СССР, среди них,

М.В. Якутович, С.В. Карпачёв, С.К. Сидоров. Также из *"Свердловска прибыли кандидаты химических наук Ю.В. Карякин и Б.Н. Лундин"* [61, с. 103].

Михаил Васильевич Якутович, работавший до перевода заместителем директора и заведующим лабораторией механических свойств, был назначен заместителем научного руководителя Уральского электрохимического комбината (с 1953 г. по 1962 г. научный руководитель). М.В. Якутович *"руководил работами по созданию нового оборудования для разделительного производства, совершенствованию технологических процессов разделения изотопов диффузионным и газоцентрифужным методами"* [61, с. 103].



Михаил Васильевич Якутович

Сергей Васильевич Карпачёв был директором ИФМ с 1 июля 1948 г. по июль 1949 г. и заведующим лабораторией электрохимии (входила в 1936–1939 гг. в состав Уральского физико-технического института (ИФМ УрО РАН)). В ноябре 1949 г. научный руководитель комбината И.К. Киконя был назначен начальником ЦЗЛ (центральная заводская лаборатория) по совместительству, а его заместителем стал С.В. Карпачёв (в 1953–1956 гг. — начальник ЦЗЛ) [62, с. 237].



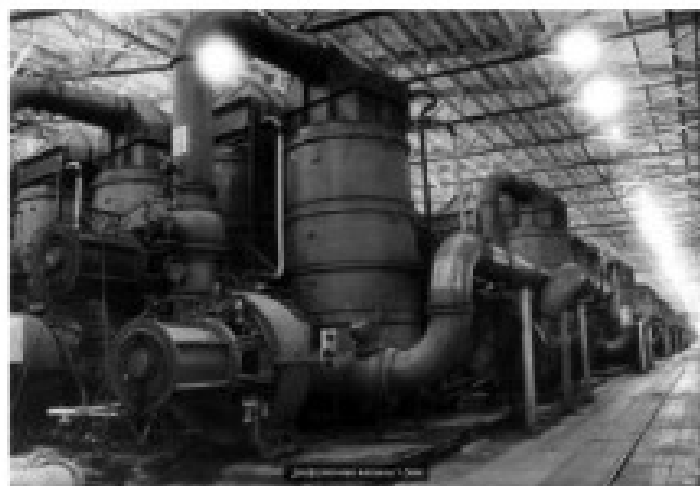
Сергей Васильевич Карпачёв

14. Первый диффузионный завод Д-1

Причина, по которой "десант" учёных был направлен на комбинат №813, *"заключалась в срыве сроков ввода в эксплуатацию первого диффузионного завода Д-1 по разделению изотопов урана. При пусках каскадов диффузионных машин был обнаружен недопустимо высокий уровень коррозии (разложения) гексафторида урана. Оказалось, что при прохождении потока, обогащаемого по урану-235 гексафторида урана значительная его часть постепенно превращалась в тетрафторид урана и в виде порошка осаждалась на внутренних поверхностях оборудования и трубопроводов. В итоге конечной ступени каскада достигала существенно меньшая часть газа"* [63]. *"В ЦЗЛ С.В. Карпачёв занимается исследованием взаимодействия новых материалов и изделий с рабочим газом (гексафторидом урана), разработкой улучшенных трубчатых карт, созданием новых типов диффузионных фильтров"* [63].

В 1950 г. в ЦЗЛ было образовано четыре сектора, из них "физический" (возглавил П.А. Халилеев) *"для изучения измерения изотопного состава урана, исследований различной способности и структуры пористых сред"*, "химический" (возглавил Ю.В. Карякин) *"для анализа качества продукции (содержание урана и примесей), исследований по антикоррозионной защите оборудования, разработки смазок, устойчивых в агрессивных средах, химико-технологических исследований"*, "технологический" (возглавил С.К. Сидоров) *"для проведения испытаний основного оборудования, конденсационно-испарительных установок (КИУ), диффузионных фильтров"* [61, с. 104], также были организованы лаборатории, — масс-спектрометрическая и радиоактивных методов. *"Общее руководство ими осуществлял руководитель физического сектора П.А. Халилеев"* [61, с. 108].

Вообще, какое количество машин входило в каскады первого диффузионного завода и насколько надёжно работали компрессоры? *"Долгое время приходилось круглые сутки заменять остановленные компрессоры новыми или отремонтированными. Только в 1949 г. была установлена истинная причина выхода из строя подшипников — чрезмерная их точность и неправильная посадка в корпусе электродвигателя. После замены подшипников на всех (более чем 5500) компрессорах и корректировки посадки машины перестали выходить из строя"*. Проблем хватало.



Каскад самых больших диффузионных машин Т-56М
https://www.bhfloatom.ru/persons/karpachev_sergey_vasilevich/#gallery.



Диффузионный каскад

https://www.biblioatom.ru/persons/simonenko_daniil_lukich/#gallery.

тало и без компрессоров. Так, в 1948 г. «...Завод работал, но проектной продукции не выдавал. Был получен уран обогащением всего лишь 40 %. И.В. Курчатов поручил Л.А. Арцимовичу довести этот уран до бомбовой кондиции на экспериментальной электромагнитной установке в Лаборатории № 2. За месяц её круглоструйной работы из 40 %-го урана было получено 400 г урана, содержащего от 92 % до 98 % урана-235. К середине 1948 года расчётами теоретиков было установлено, что при проектной комплектации завода диффузионными ступенями получить уран обогащением 90 % невозможно. Необходимо было изменить проект Д-1 и ввести в технологическую схему дополнительно около 1000 газодиффузионных ступеней». Для дополнительных ступеней были разработаны новые машины, отличающиеся уменьшенными коррозионными потерями высокообогащённого газа и повышенной степенью сжатия газа в компрессоре. «Для обеспечения проектной производительности и пуска завода было решено заметить 896 машин ЛБ-7 на 1696 малых машин ЛБ-6 с пониженными потерями, смонтировать и сдать в эксплуатацию к 15 мая 1949 года». В ноябре 1949 г. «удалось получить первый продукт 75 %-го обогащения при небольшом (далёком от проектного) отборе, этот ещё некондиционный продукт было решено брать с завода Д-1 и дообогащать его до 90 % на электромагнитном заводе, созданном под руководством Л.А. Арцимовича на Северном Урале». «В 1950 г. после замены всех двигателей на машинах ЛБ-7 и ЛБ-8 и проведения пассивирующей обработки всех внутренних поверхностей машин, включая пористые фильтры, полного ввода в эксплуатацию станции охлаждения воды (до 8–10 °С) и цеха сухого воздуха завод Д-1, наконец, стал работать нормально. Обогащение конечного продукта ураном-235 было доведено от 75 % до значения 90 % при проектной величине отбора. Электромагнитный завод прекратил дообогащение урана и был переключен на разделение стабильных изотопов» [4, с. 40–44].

Трудности были преодолены, диффузионный завод запущен. Заслуги разработчиков были высоко оценены. 6 декабря 1951 г. группа, возглавляемая И.К. Кириковым, в которую входили вышеупомянутые В.С. Обухов, Д.Л. Симоненко, М.В. Якутович, С.В. Карпачёв, И.Н. Поляков, была удостоена Сталинской премии первой степени за разработку и промышленное освоение производства урана-235 методом газовой диффузии с

Постановление СМ СССР № 4964-2148сс/сп
«О награждении и премировании за выдающиеся научные работы в области использования атомной энергии, за создание новых видов изделий РДС, достижения в области производства плутония и урана-235 и развития сырьевой базы для атомной промышленности»

г. Москва, Кремль

6 декабря 1951 г.

Сов. секретно

(Особая папка)

III. За разработку и промышленное освоение производства урана-235 методом газовой диффузии:

11. Представить Кирикову Ивану Кузьмичу, члену-корреспонденту Академии наук СССР, научного руководителя работ, и присвоить звание Героя Социалистического Труда, премировать его суммой 30 тыс. руб. и tặngной «ММ».

Присвоить Кирикову И.К., члену-корреспонденту Академии наук СССР, звание лауреата Сталинской премии первой степени.

Поощрить за отличную работу и преданность в собственности Кирикова И.К., члена-корреспондента Академии наук СССР, денежной премией.

Установить Кирикову И.К., члену-корреспонденту Академии наук СССР, денежной орденом за все время его работы в области использования атомной энергии.

14. Вручить руководителю работ по разведению атомного урана диффузионным методом Соболеву Сергею Львовичу, инженеру, Якутовичу Михаилу Васильевичу, кандидату физико-математических наук, Карпачёву Сергею Васильевичу, доктору технических наук, Симоненко Данилу Лукичу, кандидату физико-математических наук, Малозванкову Михаилу Дмитриевичу, доктору технических наук, Сыромятникову Якову Абрамовичу, кандидату физико-математических наук, Обухову Владимиру Семёновичу, научному сотруднику, присвоить звание лауреата Сталинской премии первой степени.

Премиировать т. Соболева С.Л., Якутовича М.В., Карпачёва С.В., Симоненко Д.Л., Малозванкова М.Д., Сыромятникова Я.А. и Обухова В.С. суммой 200 тыс. руб. (на всех).

Присвоить т. Соболеву С.Л. и присвоить звание Героя Социалистического Труда, а т. Якутовичу М.В., Карпачёву С.В., Сыромятникову Я.А., Малозванкову М.Д., Симоненко Д.Л. и Обухову В.С. — к награждению орденом Ленина.

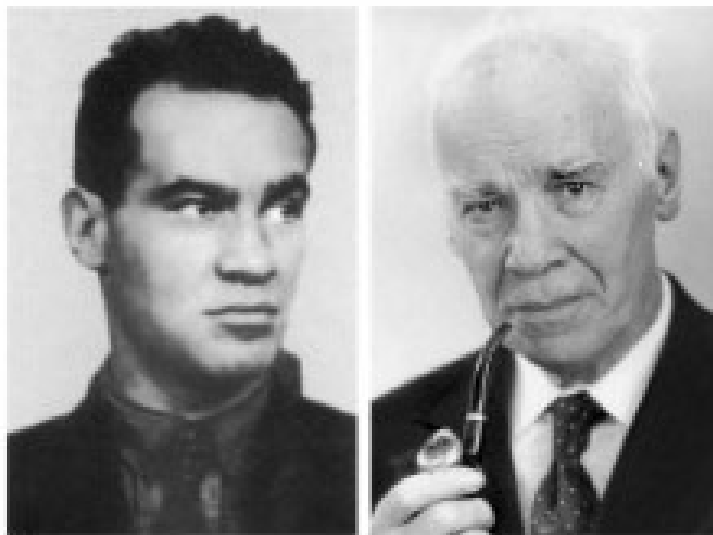
Постановление СМ СССР № 4964-2148сс/сп 6 декабря 1951 г. (Сов. Секретно/особая папка). «О награждении и премировании за выдающиеся научные работы в области использования атомной энергии, за создание новых видов изделий РДС, достижения в области производства плутония и урана-235 и развития сырьевой базы для атомной промышленности» Атомный проект СССР. документы и материалы (фрагмент) [64].

формулировкой: «ведущим руководителем работ по разделению изотопов урана диффузионным методом» (см. фрагмент документа выше [64]). «В 1951 году, через год после того, как на заводе Д-1 были получены первые килограммы урана, обогащённого до 90 % ураном-235, была испытана сделанная из этого взрывчатого материала первая урановая бомба. Это было спустя два года после испытания первой плутониевой бомбы (1949 г.). В дальнейшем отечественные заводы стали производить также уран слабого (до 5 %) обогащения для атомных электростанций» [4, с. 53].

«За первым газодиффузионным заводом вскоре были построены новые заводы Д-3, Д-4, Д-5 и другие. В конце 1955 г. завод Д-1 был демонтирован ввиду его неэкономичности и маломощности» [4, с. 49]. С 1949 г. по 1964 г. были построены ещё три диффузионных завода по обогащению урана: в Томске-7 на Сибирском химическом комбинате, в Ангарске на Электролизном химическом комбинате и в Красноярске-45 на Электрохимическом комбинате. «Д.Л. Симоненко был председателем Государственной приемной комиссии по газодиффузионным заводам (1949–1956 гг.)» [61, с. 120].

15. Центрифужная технология обогащения урана

Газодиффузионная технология обогащения урана достигла расцвета, обеспечивая все потребности Советского Союза в уране-235. Но рано или поздно технологии сменяют друг друга, «постепенно на заводах газодиффузионные ступени отключались и демонтировались, а на их



Исаак Константинович Кикоин

место устанавливались каскады газовых центрифуг. Последний газодиффузионный каскад был остановлен в 1991 году» [4, с. 54]. Этап центрифужного разделения изотопов урана начался намного раньше; так, завод по центрифужной технологии обогащения был выведен на полную мощность в 1964 г. [65, с. 22], но этому предшествовало десятилетие напряженной работы по развитию этого метода.

Весной 1954 г. академик И.К. Кикоин был назначен научным руководителем по созданию промышленной центрифужной технологии, и за следующие 10 лет эта труднейшая задача была успешно решена. Многие из вышеупомянутых учёных приняли в решении этой задачи непосредственное участие и были удостоены государственных наград. Вот как вспоминает инициацию начала работ по созданию промышленной центрифужной технологии П.Е. Суетин: «В ноябре 1952 года мы все были приняты в аспирантуру при отделе приборов теплового контроля (руководитель — И.К. Кикоин) ЛИП АН СССР (Москва)». «Проблема диффузионного разделения изотопов урана в научном плане была решена, а околонаучные производственные и полупроизводственные вопросы под его научным руководством успешно решала заводская лаборатория при диффузионном заводе в Верх-Нейвинске. Так что перед лабораторией встал вопрос, что делать дальше? Серьезно говорили о разработке атомного двигателя для самолета, а также центробежном разделении изотопов и других близких к проблеме разделения изотопов проблемах. В итоге победил центробежный метод разделения изотопов, так как появилась идея организации каскада машин не только внутри противоточных центрифуг, но прежде всего вне их — по уже отработанному в диффузионном производстве методу» [52, с. 92]. Важность перехода на новый метод разделения, можно прокомментировать двумя фактами. Факт 1: Всемирная ядерная ассоциация (World Nuclear Association) утверждает, что в разгар холодной войны три газодиффузионных завода США в период наибольшей мощности потребляли 7% всей электроэнергии, производимой в это время в США [66]. Факт 2. Опытный центрифужный завод Уральского электрохимического комбината в 1958 г. «вышел на расчётный режим и показал, что при таком методе как минимум в двадцать раз (!) сокращается энергопотребление на единицу разде-

ления» по сравнению с газодиффузным методом разделения изотопов урана [65, с. 10].

Шкала уронней технологической готовности изделия (TRL — Technology Readiness Level), разработанная Национальным аэрокосмическим агентством США (NASA), имеет девять ступеней градации. В статье «Газовые центрифуги для разделения изотопов. Часть 4» [40] утверждается, что разработка центрифуги Ланге преодолела первые две ступени (концепция, макет), разработка центрифуги Штеенбека достигла третьей ступени (лабораторный образец). Эти наработки не пропали зря: только при обсуждении полученного опыта и рассмотрении недостатков конструкторов этих центрифуг смогла появиться современная концепция центрифуги. Приведу два примера, характеризующих, что работы, начатые Ф.Ф. Ланге и Д.Л. Симоненко, не пропали зря. Следствием опытов с центрифугой Ланге «в 1943–1944 гг. в г. Свердловске являлась разработка оригинальной установки — самокаскадирующей противоточной колонки для разделения газовых смесей и изотопов. Идея её устройства возникла у экспериментаторов при выяснении причин зафиксированного ими эффекта «самопроизвольного» разделения смеси газов в неподвижной центрифуге. К марту 1945 г. Ф. Ланге и Д.Л. Симоненко провели ряд успешных экспериментов с противоточной колонкой. На этом их совместная работа закончилась. Ф. Ланге был переведён в Москву, где возглавил Лабораторию № 4 при ПГУ. В 1956 г. он выехал в ГДР. Д.Л. Симоненко был в 1945 г. переведён в Москву в возглавляемый И.К. Киконым Сектор № 2 Лаборатории № 2 АН СССР. Здесь Д.Л. Симоненко продолжил работу над противоточной диффузионной колонкой» [67, с. 441]. Идея противотока нашла дальнейшее применение в разработке центрифуг, позволив каскадировать центрифуги. Вот как о полученных результатах в экспериментах Ф.Ф. Ланге и Д.Л. Симоненко пишет О.Д. Симоненко: «Тем не менее полученная в этих экспериментах физическая информация о резком изменении в величине, и направлении циркуляции под влиянием неподвижных отборных трубок, введенных в уплотненную часть газа области внутренней поверхности стенок вращающегося ротора, нашла применение в 1950–1954 гг. По предложению И.К. Кикоина эффект торможения набегающего потока газа был задействован в вертикальных центрифугах с коротким жестким тонкостенным ротором, идея создания которых была выдвинута Евгением Михайловичем Камениным (1910–1963 гг.). Это обеспечило возникновение противоточной циркуляции внутри ротора и позволило осуществить течение газа по межмашинным коммуникациям, т.е. каскадирование центрифуг» [67, с. 441].

16. Разработка методов регистрации ядерных взрывов

Я бы хотел остановиться ещё на одной проблеме, вставшей перед участниками Атомного проекта. В начале 1954 г. работы по центрифугам в ЛИПАН (Лаборатория № 2 АН СССР) несколько замедлились из-за срочного поручения Курчатова отделу Кикоина заняться разработкой методов регистрации ядерных взрывов. 1 ноября 1952 г. США взорвали первый в мире термоядерный заряд по схеме Теллера–Улама на атолле Эниветок. В это время в СССР также разрабатывалась термоядерная бомба. Обратимся к статье

Г. Горелика [68], в которой сообщается, что советские учёные «решили сравнить американское "изделие" со своим, собрав "осколки" взрыва, попавшие в атмосферу. Они собрали свежесыпавший снег, надеясь выделить из него характерные изотопы, образовавшиеся при ядерном взрыве, но надежда не оправдалась, — не хватило чувствительности приборов, то была, уменьши экспериментаторов (лишь год спустя в СССР начались систематические исследования по обнаружению далеких ядерных взрывов)». С 1951 г. начались первые отечественные исследования возможностей дальнего обнаружения ядерных взрывов. И.К. Кикони возглавил работы по созданию методик, средств отбора радиоактивных продуктов ядерных взрывов и высокочувствительных установок для измерения активности собранных проб. К этим исследованиям были привлечены и его верные соратники, работавшие с ним ещё в Свердловске. Вскоре эта непростая задача была успешно решена, и в результате была разработана система обнаружения ядерных и термоядерных взрывов. «Отбор проб из воздуха самолетами-зондировщиками и их радиохимический анализ позволяли определять применяемое ядерное горючее и некоторые конструкционные материалы ядерных зарядов» [69, с. 245]. Из книги А.П. Васильева «Система дальнего обнаружения ядерных взрывов и советский атомный проект»: «В 1957 г. в Институте атомной энергии под научным руководством академика И.К. Кикони был завершён двухтомный труд "Разработка системы обнаружения ядерных взрывов на больших расстояниях". Этот труд с результатами теоретических и экспериментальных исследований методов регистрации ядерных взрывов, обобщением опыта исследования и внедрения технических средств дальнего обнаружения на пунктах наблюдения был удостоен Ленинской премии на конкурсе закрытых работ по науке и технике за 1958 г. В состав авторского коллектива были включены семь представителей из Института атомной энергии И.К. Кикони (научный руководитель), К.И. Балашинов, С.А. Баранов, В.С. Обухов, Д.Л. Симоненко, В.В. Соколовский, Ю.И. Щербина, два из Службы специального наблюдения Министерства обороны: А.Н. Устюженико и В.И. Лебедев и один из Института физики Земли — И.П. Пасечник». О вкладе В.С. Обухова, Д.Л. Симоненко в эту работу можно судить по тому, что первым представителем СССР в Научном комитете Организация Объединённых Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН) с 1955 г. (год организации) по 1959 г. был В.С. Обухов, а с 1959 по 1961 гг. — Д.Л. Симоненко.

17. Сергей Константинович Сидоров

Сергей Константинович Сидоров в 1947–1949 гг. был заведующим лабораторией фазовых превращений ИФМ. Дочь С.К. Сидорова — Т.С. Прекул в статье «Штрихи к портрету Сергея Константиновича Сидорова» пишет: «В 1949 г. жизнь нашей семьи круто изменилась. Против собственного желания, персональным постановлением Совета министров СССР папа, вместе с П.А. Халиловым, М.В. Якутовичем, С.В. Карпачёвым был направлен на работу в Уральскую базу Главстроя, такое название в то время имело предприятие п/л 318 МСМ СССР (г. Новоуральск), начальником технологического сектора. Как теперь известно, сектор этот занимался разработкой и совершенствованием газодиффузионного и центробежного методов разделения изотопов урана» [70,



С.К. Сидоров в армии 1940 г.



Сергей Константинович Сидоров

с. 262]. В 1953 г. С.К. Сидоров был переведён с повышением должности в создаваемый вблизи г. Томска комбинат по производству высокообогащённого урана-235 и плутония-239. Т.С. Прекул вспоминает: «Намеченный быт и тёплые комнаты разрушились в 1953 г. Приказом министра СМС СССР папа был переведён в г. Томск-7 (Северск) на должность научного руководителя Сибирского химического комбината, предприятия п/л 153 МСМ СССР. Для мамы это была трагедия. Она очень переживала расставание с близкими, родными, друзьями. Строительство нового городка было в самом начале» [70, с. 263]. О строительстве комбината №816 (АО «Сибирский химический комбинат») в г. Северске (Томск-7) говорилось в докладе И.В. Сталину за подписью Л.П. Берия, Б.Л. Ванникова, А.П. Завенягина, И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона и К.И. Щелкина «О ходе выполнения заданий на 1951 год и о программе работ по развитию атомной промышленности в 1951–1953 гг.» от 16 ноября 1951 г. [54, с. 348]. «Для обеспечения третьего завода обогащённым до 1,5–2 % ураном-235 в составе комбината №816 строятся два диффузионных завода. Кроме того, на комбинате будут построены два химических завода и электростанция мощностью 200 тыс. киловатт». За вклад в строительство и пуск завода Сергей Константинович получил в 1960 г. Ленинскую премию «за участие в работах по коренному совершенствованию производства».

18. Сотрудники лаборатории фазовых превращений Института физики металлов

В этой статье предпринята попытка описать наиболее яркие вклады в Атомный проект сотрудников ИФМ. Возможно, не все фамилии людей тут озвучены, так как многие годы деятельность, связанная с Атомным проектом, была засекречена, и по прошествии 80 лет информация была утеряна. О некоторых из них сохранились лишь обрывочные упоминания. Добавлю справочные сведения о сотрудниках лаборатории фазовых превращений ИФМ, которую возглавлял с 1933 г. по 1948 г. А.П. Комар: «Уже после войны Н.Н. Буинов принимал участие в атомном проекте вместе с сотрудниками лаборатории, которые впоследствии уехали в закрытые города (Д.М. Тарасов — в Арзамас, С.К. Сидоров — в Верх-Нейвинск). Для атомной промышленности вместе с другими сотрудниками А.П. Комара он создавал фильтры

по разделению радиоактивных изотопов. Были разработаны и применялись методы рентгеноспектрального химического анализа состава рудных руд" [71, с. 334].

Буйнов Николай Николаевич в 1947 г. возглавил в институте (ИФМ) созданную по инициативе А.П. Комара группу электронной микроскопии [71, с. 335] (в 1946 г. институту выделили один из двух первых появившихся в стране просвечивающих электронных микроскопов марки ЕМІ-2, купленных в США). Как мне представляется, такая щедрость была связана в том числе и с необходимостью работ по исследованию структуры создаваемых "фильтров по разделению радиоактивных изотопов".



Николай Николаевич Буйнов



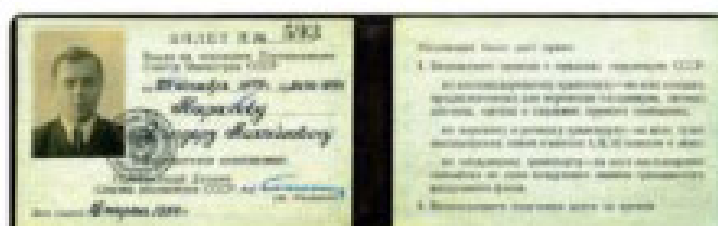
Н.Н. Буйнов за первым в институте электронным микроскопом ЕМІ-2 1947 г.



Дюдор Михайлович Тарасов

Тарасов Дюдор Михайлович в Атомном проекте занимался разработкой и освоением методик исследования ударных и детонационных волн. "Кроме импульсных рентгеновских установок в то время мы располагали лишь измененным методом Дотриана и фотохронографами со скоростью развертки до 100 метров в секунду. Высокоскоростные осциллографы и фотохронографы ещё только создавались" [59, с. 96]. Им были получены: Сталинская премия третьей степени за разработку новых методов сверхскоростной рентгенографии для исследования центральной части заряда атомной бомбы (1949 г.), Сталинская премия второй степени за разработку кинематики и динамики обжатия взрывом применительно к изделиям РДС-6с и РДС-5 (1953 г.), орден Трудового Красного Знамени за испытания самой мощной в мире термоядерной бомбы АН602 (1962 г.), два ордена Ленина (1949 г., 1956 г.) за участие в создании нового типа термоядерного заряда РДС-37 [72].

С 1937 г. по 1946 г. Д.М. Тарасов работал в лаборатории фазовых превращений УралФТИ (ИФМ УрО РАН) (с сентября 1941 г. по июль 1945 г. — служба в Красной (Советской) армии). С апреля 1938 г. Д.М. Та-



Удостоверение Тарасова Д.М., дающее право на бесплатный проезд на всех видах транспорта 1950 г. https://www.biblioatom.ru/persons/tarasov_diodor_mikhailovich/#gallery.



Коллектив лаборатории фазовых превращений в 1945 г.
Справа налево (сидят): М.А. Манакова, Н.Н. Буйков, А.П. Комар,
Н.В. Волкенштейн, М.А. Блохин, неизвестная; С.К. Сидоров (стоит).

расов — аспирант А.П. Комара по специальности "Физика рентгеновских лучей и рентгеноструктурный анализ". В 1946 г. был откомандирован в распоряжение Первого главного управления при Совете Министров СССР для укомплектования созданного 9 апреля 1946 г. предприятия — п/я 975 г. Саров (Лаборатория № 2 АН СССР, получившая название КБ-11, сейчас РФЯЦ-ВНИИЭФ) с рекомендацией "на научного работника по рентгенографии" [73, с. 75]. С декабря 1947 г. работал в лаборатории рентгенографических исследований взрывных процессов у В.А. Цукермана, занимаясь разработкой скоростных методов рентгенографии быстротекущих процессов. "Прилагательное "первый" по отношению к нему может быть повторено, по крайней мере, трижды: первый научный сотрудник, первый руководитель взрывных рентгеновских экспериментов на площадках, первый директор и организатор филиала Московского вечернего инженерно-физического института" [59, с. 97]. Вот как начинались в 1947 г. "взрывные рентгеновские эксперименты": "За две недели до нашего приезда на той же лесной площадке была снята опалубка с большой железобетонной "бочки", предназначенной для экспериментальных взрывов зарядов массой в 1–2 кг. В мае того же года

Д.М. Тарасов в этой бочке произвел первый опытный взрыв" [58, с. 48]. Так в 1947 г. им были получены первые данные о сжимаемости металлов.

Следующий вопрос, требующий разрешения, — получение данных о сходимости и фокусировке ударных взрывных волн, так как для инициации ядерной бомбы было необходимо получить сферически сходящуюся ударную взрывную волну. Разработчиков интересовали и многие другие физические характеристики процессов, происходящих при взрыве ядерной бомбы. Ответы на эти вопросы и получала группа, в которой работал Дниодор Михайлович. В 1948 г. группа Д.М. Тарасова была выделена в самостоятельный отдел, главной задачей которого стало исследование сжимаемости рентгенографическим методом [59, с. 97].

Дниодору Михайловичу Тарасову посвятил главу "Учитель (о Д.М. Тарасове)" в книге "Грани прошедшего (триптих)" Литвинов Борис Васильевич, академик РАН, с 1961 по 1997 гг. главный конструктор НИИ-1011 (Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина, г. Снежинск) [74, с. 478].

Антон Пантелеймонович Комар был сотрудником Института физики металлов в Свердловске с момента его основания в 1932 г. и по 1947 г., в 1946 г. в Свердловске осуществил вместе с сотрудниками запуск первого в СССР бетатрона, получил в 1951 г. Сталинскую премию второй степени за участие в разработке проекта, изготовления оборудования и пуска синхротрона. Вот как он сам пишет в автобиографии: "После войны с 1945 г. по 1948 г. я начал заниматься циклическими электронными ускорителями и рентгеноспектроскопическим анализом специальных руд. Работа по ускорителям была продолжена в Физическом институте АН СССР им. П.Н. Лебедева, куда я был переведен в 1948 г. решением Президиума АН СССР". Скан автобиографии А.П. Комара помещен на стенде "Антон Пантелеймонович Комар" Отделения физики высоких энергий НИЦ "Курчатовский институт" — ПИЯФ [75]. В 1948 г. он был избран в действительные члены АН УССР и переведен в Москву на должность заместителя директора Физического института имени П.Н. Лебедева АН СССР (1948–1950 гг.), с 1950 по 1957 гг. являлся директором Ленинградского физико-технического института [76]. "С его именем связано и строительство ядерного научного цент-



Первый ряд, слева направо: Н.В. Волкенштейн, С.К. Сидоров, Н.Н. Буйков, второй ряд: М.А. Манакова, неизвестная (1947 год).



Антон Пантелеймонович Комар

ра в г. Гамбурга, где в 1963 г. он организовал и возглавил одну из крупнейших лабораторий физики высоких энергий ЛФТИ им. А.Ф. Иоффе (1963–1976 гг.)» [77, с. 394]. А.П. Комар был заведующим сектором изучения механизма фазовых превращений (впоследствии отдела фазовых превращений и рентгеновского анализа) с момента образования УралФТИ. Студент-дипломник В.С. Обухов первоначально был зачислен в этот сектор и у них даже вышла совместная статья (Komar A.P., Obukhov V.S. *Sov. Phys.* 5 4 635 (1934)).

19. Привлечение к работам в Атомном проекте без перевода с основного места работы и связь с Уральским политехническим институтом

В настоящей статье рассказано о сотрудниках Института физики металлов, которые были переведены из института в организации создаваемого атомного комплекса СССР, но было достаточно много людей, которые привлекались к работам, связанным с Атомным проектом, без перевода на предприятия, обеспечивающие его выполнение. Так, Юрий Павлович Ирхин, д.ф.-м.н., физик-теоретик, поступивший на работу в ИФМ в 1953 г. после окончания Саратовского университета, вспоминал, что теоретический отдел института тогда привлекали к расчётам, связанным с ядерной тематикой (из сообщения его ученика Е.В. Розенфельда). В Уральском политехническом институте (УПИ), как и в ИФМ, разрабатывались фильтры для диффузионных машин, проводились работы по исследованию этих фильтров. Для создаваемой атомной промышленности были необходимы тысячи специалистов инженеров-физиков, которых надо было где-то взять. В основных научных центрах страны открывается подготовка студентов по созданным физико-техническим специальностям. Так, в УПИ в сентябре 1949 г. был открыт физико-технический факультет, на который были переведены лучшие студенты, окончившие четвёртый курс энергетического факультета (20 человек) и металлургического факультета (50 человек). П.Е. Суетин вспоминал: *"Учебный план, по-видимому, составил тогда профессор С.В. Вонсовский. Он же и пригласил преподавателей из числа научных сотрудников Института физики металлов Уральского филиала Академии наук (ИФМ УФААН). ...Во втором семестре нас направили на практику в ИФМ УФААН СССР для монтажа одного из первых на Урале, да и в стране, ускорителя — бетатрона. После окончания года учёбы на физтехе, осенью, нас направили на преддипломную практику и дипломирование. Часть группы была откомандирована в УФААН для окончания монтажа и наладки бетатрона, а В.И. Акимов, С.А. Баженова, Р.Г. Ваганова, Н.А. Платинова, В.М. Рыжкова, Г.В. Соловьёва, П.Е. Суетина — в Институт атомной энергии имени И.В. Курчатова". 16 мая 1951 года в кабинете у И.К. Киконина состоялась защита дипломных работ. После защиты дипломов "нас троих (Г.В. Соловьёва, В.М. Рыжкова и меня) направили на кафедру физтеха УПИ, а остальных — на диффузионный завод в Свердловск-44 (Верх-Нейвинск). Дипломники из УФААНа были направлены в Свердловск-45 (Нижняя Тура) на электромагнитное разделение изотопов, одного выпускника направили в г. Электросталь — на завод по производству пористых перегородок (Н.А. Платинов)" [52, с. 85]. Па-*

ригорий Евстафьевич Суетин, учась на физико-техническом факультете УПИ, защитил диплом в 1951 г. под руководством В.С. Обухова, а затем и кандидатскую диссертацию под руководством Евгения Михайловича Камнева в 1955 г. в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. П.Е. Суетин являлся ректором Уральского университета с 1976 по 1993 гг.

УПИ и ИФМ территориально находятся в 10 минутах ходьбы друг от друга, и сотрудники этих организаций часто совмещали работы или делали совместные работы. Так, братья Киконины не только работали в ИФМ, но и преподавали в УПИ. Об этом с благодарностью помнят: например, Уральский федеральный университет проводит ежегодный *"Конкурс исследовательских работ школьников памяти А.К. Киконина и И.К. Киконины"*. Ф.Ф. Ланге, проработавший в Лаборатории электрических явлений в Институте металловедения, металлофизики и металлургии Уральского филиала АН СССР (одно из наименований ИФМ), которой руководил И.К. Киконин, числясь при этом старшим научным сотрудником Лаборатории № 2 в Москве с июля 1943 г. по декабрь 1945 г., одновременно преподавал в Уральском индустриальном институте им. С.М. Кирова, являясь профессором кафедры *"Техника высокого напряжения"* [78, с. 205]. Прочитав автобиографию Д.Л. Симоненко: *"В 1938 г. поступил на работу в Уральский физико-технический институт, ныне Уральский филиал академии наук СССР. Здесь я работаю старшим научным сотрудником в лаборатории электрических явлений, руководитель — член-корреспондент акад. наук СССР проф. Киконин И.К. С 1938 г. веду преподавание физики в Уральском индустриальном институте им. С.М. Кирова, где являюсь доцентом каф. физики."* [79, с. 294]. В.С. Обухов вёл педагогическую работу в Уральском индустриальном институте" [22]. А.П. Комар в 1936–1947 гг. был заведующим лабораторией фазовых превращений УралФТИ, одновременно в 1937–1947 гг. являясь заведующим созданными им кафедрой рентгеноструктурного анализа и рентгеновской лабораторией Уральского государственного университета [62, с. 391]. С.В. Карпачёв (директор ИФМ с 1948 г. по 1949 г.), проработав в Атомном проекте с 1949 г. по 1956 г., был ректором Уральского государственного университета с 1956 г. по 1963 г. (УрГУ сейчас входит в УрФУ) с 1963 г. по 1984 г. директор Института электрохимии УНЦ АН СССР, с 1970 г. член-корреспондент АН СССР.

20. Учёные-химики

Юрий Викторович Карякин и Борис Николаевич Лундин учёные-химики, попали во "второй десант" на Уральский электрохимический комбинат, по-видимому, по приглашению И.К. Киконина. Из воспоминаний дочери С.К. Сидорова Т.С. Прекул о жизни в г. Новоуральске (Верх-Нейвинский): *"Тесная компания моих родителей — семьи П.А. Халимова, Б.Н. Лундина и Ю.В. Карякина. Юрий Владимирович — дедовский брат папы"* (тут, по-видимому, опечатка, правильно Юрий Викторович Карякин) [70, с. 262].

Из воспоминаний Волкова Владимира Владимировича, выпускника физтеха УПИ 1956 г., защитившего дипломный проект на Уральской базе технического снабжения Главстроя СССР (УБТС) в отделе № 16 в г. Свердловске-44: *"руководили моим дипломированием"*

профессора Кармян Юрий Викторович и Лундин Борис Николаевич" [80].

Юрий Викторович Карякин — организатор и первый заведующий кафедрой физико-химических методов анализа физико-технического факультета УПИ, с 1949 по 1963 гг. работал на Уральском электрохимическом комбинате (УЭХК, г. Новоуральск Свердловской области): начальник химического сектора, начальник созданной им химико-аналитической лаборатории ЦЛ, с 1956 г. — начальник ЦЛ. Руководил работами по получению чистых урановых продуктов и металлического высокообогащённого урана. Удостоен в 1951 г. Сталинской премии второй степени — "за разработку методов борьбы с коррозией на диффузионном заводе" [64, с. 357]. Награждён он в составе коллектива, возглавляемого академиком Фрумкиным Александром Наумовичем, который был привлечён в Атомный проект как раз из-за вышеупомянутого срыва "сроков ввода в эксплуатацию первого диффузионного завода Д-1".

Борис Николаевич Лундин в 1936 г. поступил в аспирантуру УПИ на кафедру органической химии и "зачислен по совместительству младшим научным сотрудником в УФАИ". В 1939 г. защитил кандидатскую диссертацию под руководством И.Я. Постовского [81, с. 41].

"Создание для подшипников компрессоров специальной смазки, стойкой во фторсодержащей среде, негигроскопичной и химически стабильной" было очень значимой и трудной задачей. Для её решения были привлечены две организации: НИИ-42 Минхимпрома СССР и Уральский политехнический институт (руководители д.т.н. И.Я. Постовский и к.т.н. Б.Н. Лундин). В НИИ-42 создали смазку "Экстра", однако её производство в 1948 г. обходилось очень дорого, примерно 1 млн. руб. за 1 кг. «В начале 1947 г. в американской печати появилось сообщение о получении инертных смазок путём паровозного фторирования трифторидом кобальта различных нефтяных масел. В Уральском политехническом институте проверили эти данные и синтезировали фторорганическую спецсмазку, названную маслом "УПИ", которая была введена в производство в 1948 г. [61, с. 116]. "За создание масла "УПИ", внедрение в производство и решение ряда вопросов, связанных с его эксплуатацией И.Я. Постовский, Б.Н. Лундин были удостоены Сталинской премии второй степени в 1951 г." [61, с. 116] с формулировкой "за разработку технологии производства шестифтористого урана и новых типов смазочных масел, устойчивых в среде шестифтористого урана" [64, с. 358]. Создание "специальной фторированной смазки УПИ (так она названа по месту её создания — Уральский политехнический институт), работающей в среде гексафторида урана, открыло возможность конструирования более простых в изготовлении одноступенчатых диффузионных "машин" [4, с. 23].

21. Вместо эпилога

В докладе И.В. Сталину за подписью Л.П. Берия, Б.Л. Ванникова, А.П. Завенягина, И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона и К.И. Щелкина "О ходе выполнения заданий на 1951 год и о программе работ по развитию атомной промышленности в 1951 – 1955 гг." от 16 ноября 1951 г. [54, с. 347] подводятся некоторые итоги, характеризующие сложность задачи по производству урана-235: "Получение урана-235 диффузионным мето-

дом явилось одной из наиболее сложных задач. Работа над проблемой получения урана-235 диффузионным методом была начата с создания в 1946 г. машин производительностью 8 граммов в секунду. Учёным, конструкторам и инженерам было необходимо создать несколько типов сложных диффузионных машин, полностью герметизированных и безостановочно работающих при глубоком вакууме. Необходимо было также искать для этих машин коррозионноустойчивые материалы, не подвергающиеся действию химически высокоактивного рабочего газа — соединения урана с фтором. Выполненные за истекшие годы учеными-физиками, химиками и конструкторами большие работы позволили в 1951 году организовать промышленный выпуск диффузионных машин производительностью 1200 и 2200 граммов в секунду, обеспечивших значительное увеличение выпуска урана-235". Ещё более трудной являлась задача получения урана методом центрифугирования: если при создании диффузионных машин можно было опираться на разработки в США и Великобритании, то разработка центрифужного метода разделения опередила на несколько десятилетий мировую ядерную промышленность.

Поводом для написания настоящей статьи стало 90-летие Института физики металлов имени М.Н. Михеева, образованного в 1932 г. Свой юбилей (90 лет) ИФМ отметил в конце 2022 г. Юбилей были и в 2023 г. — 80 лет с момента привлечения в 1943 г. ИФМ к работам по Атомному проекту и 80 лет с момента создания первой центрифуги в СССР по изобретению Ланге. На 2023 г. и 2024 г. приходятся две памятные даты, связанные с Исааком Константиновичем Киконным (28.03.1908 – 28.12.1984): 115 лет со дня рождения и 40 лет со дня кончины [82]. Также 80 лет назад в 1943 г. была образована Лаборатория № 2 АН СССР [82] (ныне Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт"). Однако выходит в свет данная публикация в канун 75-летия первого ядерного взрыва в СССР (29 августа 1949 года), положившего конец монополии США на владение ядерным оружием.

Самоотверженному труду создателей ядерного щита Отечества автор и посвящает данную статью.

Благодарности. Автор благодарит С.В. Гудину, И.Ю. Арапову, М.М. Насрыеву, В.П. Спирину, Н.И. Носальскую за помощь в подготовке и редактировании статьи, за ценные замечания и идеи, высказанные во время её обсуждения. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ "Квант" № 122021000038-7.

22. Приложение

22.1. Историческая справка

Институты, университеты, города, которые упоминаются в статье, в разные годы имели различные наименования, и, чтобы исключить путаницу, в данном разделе перечислены основные.

ИФМ с момента образования в 1932 г. по 1939 г. носил наименование Уральский физико-технический институт (УралФТИ), с 1939 г. по 1943 г. — Институт металлофизики, металловедения и металлургии (ИМММ) в составе Уральского филиала Академии наук СССР (УФАИ), с 1943 г. по 1945 г. — Институт металлофизики и металлургии Уральского филиала Академии наук СССР, с

1945 г. Институт физики металлов Уральского филиала Академии наук СССР.

г. Екатеринбург носил наименование Свердловск с 1924 по 1991 гг.

г. Новоуральск (с 1954 г. по 1994 г. — Свердловск-44) — город в Свердловской области, закрытое административно-территориальное образование, расположен по соседству с посёлком Верх-Нейвинский.

г. Северск (прежние названия Почтовый ящик № 5, Берёзки, Томск-7) — город в Томской области, закрытое административно-территориальное образование.

Уральский федеральный университет (УрФУ, г. Екатеринбург) носил наименование Уральский государственный университет с момента образования в 1920 г. по 1925 г., в 1925 г. переименован в Уральский политехнический институт (УПИ), в 1930 г. факультеты УПИ преобразованы во втузы, в 1931 г. из части втузов выделен (возрождён) Свердловский государственный университет (СГУ), 1934 г. на базе оставшихся от УПИ втузов, не вошедших в СГУ, создан Уральский индустриальный институт (УИИ), в 1945 г. СГУ переименован в Уральский государственный университет (УрГУ), в 1948 г. УИИ переименован в Уральский политехнический институт, в 1992 г. УПИ переименован в Уральский государственный технический университет (УГТУ-УПИ), в 2010 г. создан Уральский федеральный университет (УрФУ), объединивший УГТУ-УПИ и УрГУ.

22.2. Физическая справка

В данном разделе приведена справка о физических характеристиках урана и его соединений, а также о плутониевой и урановой бомбах.

Природный уран содержит три радиоизотопа, в скобках после обозначения изотопа указано его процентное содержание в природном уране и его период полураспада $T_{1/2}$: U-234 (0,0055 %; $T_{1/2} = 2,45 \times 10^5$ лет), U-235 (0,7200 %; $T_{1/2} = 7,04 \times 10^8$ лет), U-238 (99,2745 %; $T_{1/2} = 4,47 \times 10^9$ лет); в очень небольших количествах присутствует также U-233 [48].

Уран — серебристо-белый металл с плотностью $18,95 \text{ г см}^{-3}$, температура плавления 1135°C . UF_4 , UF_6 (тетра- и гексафторид урана) — важные для промышленности соединения. UF_4 — промежуточный продукт при получении металлического урана. UF_6 — единственное соединение урана, которое является газообразным при относительно низкой температуре (температура кипения 56°C , применяется при разделении изотопов урана в газодиффузионном и центрифужном методах [49, с. 6].

Для создания ядерного оружия используется так называемый "оружейный плутоний": это плутоний, по изотопному составу содержащий не менее 94 % изотопа Pu-239 с периодом полураспада 24110 лет.

Плутониевая бомба "Толстяк" (Fat Man) — кодовое имя атомной бомбы, разработанной в рамках Манхэттенского проекта, сброшенной США 9 августа 1945 г. на японский город Нагасаки, содержала плутониевое ядро массой около 6,2 кг и имела импlosionную схему подрыва. Масса бомбы 4670 кг. Мощность взрыва 21 кт TNT (килотонн тринитротолуола) [50, с. 10].

Урановая бомба "Малыш" (Little Boy) (заряд урановый, ядерный), 6 августа 1945 г. её применяли, сбросив на японский город Хиросима. Эта авиационная бомба с боезарядом на основе 64 кг урана и фактической мощностью 15–18 кт TNT была сконструирована по пушечному типу, который имеет низкий КПД. Поэтому в СССР эту бомбу решили не воспроизводить, сразу создавая атомную бомбу импlosionного типа [30, с. 5].

Список литературы

1. Тюшневская В. И. *Исаак Константинович Кириин: страницы жизни* (Сер. Творцы ядерного века) (М.: ИздАТ, 1996); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/tushnevskaia_kiriin_1995/p0_o/
2. "№ 128. Распоряжение ГКО № 2352сс. «Об организации работ по урану». 28 сентября 1942 г.", в сб. *Атомный проект СССР: документы и материалы*. Т. 1. Ч. 1. (Отв. сост. Л. И. Кузнецова) (М.: Наука, 1998) с. 269; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-iss_11_kn1_1998/p269/
3. Халилеев П. "Мои воспоминания" *Урал* (3) (2001); электронная версия на сайте "Журнальный зал", <https://magazines.gorky.media/ural/2001/3/moi-vozpominaniya.html>
4. Воинов В. М., Плоткина А. Г. "Разработка диффузионного метода разделения изотопов урана", в сб. *Курчатовский институт. История атомного проекта*. Вып. 3 (М.: Российский научный центр "Курчатовский институт", 1995) с. 5; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/kiaa-istoriya-atomnogo-proekta_v3_1995/p5/
5. Киселев Г. В. "Участие Л. Д. Ландау в советском Атомном проекте (в документах)" *УФН* 178 947 (2008); Kiselev G V "L. D. Landau in the Soviet Atomic Project: a documentary study" *Phys. Usp.* 51 911 (2008)
6. Гончаров Г. А., Рыбев Л. Д. "О создании первой отечественной атомной бомбы" *УФН* 171 79 (2001); Goncharov G A, Ryabev L D "The development of the first Soviet atomic bomb" *Phys. Usp.* 44 71 (2001)
7. Гончаров Г. А. "Необычайный по красоте физической принцип конструирования термоядерных зарядов (к 50-летию со дня испытания первого отечественного двухступенчатого термоядерного заряда РДС-37)" *УФН* 175 1243 (2005); Goncharov G A "The extraordinarily beautiful physical principle of thermonuclear charge design (on the occasion of the 50th anniversary of the test of RDS-37 — the first Soviet two-stage thermonuclear charge)" *Phys. Usp.* 48 1187 (2005)
8. Киселев Г. В. "Физики — выпускники Московского университета и советский Атомный проект" *УФН* 175 1343 (2005); Kiselev G V "Moscow State University physics alumni and the Soviet Atomic Project" *Phys. Usp.* 48 1251 (2005)
9. Киселев Г. В., Конев В. Н. "История реализации ториевого режима в советском Атомном проекте" *УФН* 177 1361 (2007); Kiselev G V, Konev V N "History of the realization of the thorium regime in the Soviet Atomic Project" *Phys. Usp.* 50 1259 (2007)
10. Романов Ю. А. "Воспоминание об учителе" *УФН* 166 195 (1996); Romanov Yu A "Memoir of the Teacher" *Phys. Usp.* 39 179 (1996)
11. Шпинель В. С. "К статье Г. А. Гончарова, Л. Д. Рыбева «О создании первой отечественной атомной бомбы»" *УФН* 172 235 (2002); Shpinel' V S "Remarks on the paper G A Goncharov and L D Ryabev "The development of the first Soviet atomic bomb"" *Phys. Usp.* 45 227 (2002)
12. Гончаров Г. А., Рыбев Л. Д. "О замечании В. С. Шпинеля к статье «О создании первой отечественной атомной бомбы»" *УФН* 172 236 (2002); Goncharov G A, Ryabev L D "About V S Shpinel's remarks on the review "The development of the first Soviet atomic bomb"" *Phys. Usp.* 45 228 (2002)
13. Харитон Ю. Б., Адамский В. Б., Смирнов Ю. Н. "О создании советской водородной (термоядерной) бомбы" *УФН* 166 201 (1996); Khariton Yu B, Adamskii V B, Smirnov Yu N "On the making of the Soviet hydrogen (thermonuclear) bomb" *Phys. Usp.* 39 185 (1996)
14. Гуревич И. И., Зельдович Я. Б., Померанчук И. Я., Харитон Ю. Б. "Использование ядерной энергии легких элементов" *УФН* 161 (3) 171 (1991); Gurevich I I, Zeldovich Ya B, Pomeranchuk I Ya, Khariton Yu B "Utilization of the nuclear energy of the light elements" *Sov. Phys. Usp.* 34 445 (1991)
15. Гончаров Г. А. "Основные события истории создания водородной бомбы в СССР и США" *УФН* 166 1095 (1996); Goncharov G A "American and Soviet H-bomb development programmes: historical background" *Phys. Usp.* 39 1033 (1996)
16. Гончаров Г. А. "К истории создания советской водородной бомбы" *УФН* 167 903 (1997); Goncharov G A "On the history of creation of the Soviet hydrogen bomb" *Phys. Usp.* 40 839 (1997)
17. Адамский В. Б., Смирнов Ю. Н. "Еще раз о создании советской водородной бомбы" *УФН* 167 899 (1997); Adamskii V B, Smir-

- nov Yu N "Once again on the creation of the Soviet hydrogen bomb" *Phys. Usp.* 40 855 (1997)
18. Кириков И. К., Губарь С. В., Обухов В. С. "Новая система электронизмерительной аппаратуры для измерения постоянных токов большой силы" *Восток: электрической промышленности* (7-8) 5 (1942); в сб. *И. К. Кириков — Физика и Судьба* (Сер. Памятники отечественной науки. XX век, Отв. ред. С. С. Якимов) (М.: Наука, 2008) с. 133; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/ikirikov-fizika-i-sudba_2008/p133/
 19. Тюшевская В. Н., в сб. *И. К. Кириков: Страницы жизни* (М.: ИздАТ, 1995) с. 8; Тюшевская В. Н. "И. К. Кириков", в сб. *И. К. Кириков — Физика и Судьба* (Сер. Памятники отечественной науки. XX век, Отв. ред. С. С. Якимов) (М.: Наука, 2008) с. 562; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/ikirikov-fizika-i-sudba_2008/p562/
 20. "Характеристики от 15 ноября 1942 г. Подпись Кирикова", Центральная научная библиотека Уральского отделения Российской академии наук. Отдел фондов и информационного обслуживания. Ф. 1. Оп. 4. Д. 1479. Личное дело Обухова В. С. Л. 83
 21. "Распоряжения заседания Президиума РАН СССР от 2 сентября 1943 г., пункт 26. (Заверенная копия)", Центральная научная библиотека Уральского отделения Российской академии наук. Отдел фондов и информационного обслуживания. Ф. 1. Оп. 4. Д. 1479. Личное дело Обухова В. С. Л. 90
 22. "Письмо (ходатайство) от 16 сентября 1943 г. в комитет по делам Высшей школы СНК СССР от директора Института металлофизики и металлургии Н. В. Деменёва о разрешении допустить Обухова «...до защиты кандидатской диссертации без кандидатских экзаменов», Центральная научная библиотека Уральского отделения Российской академии наук. Отдел фондов и информационного обслуживания. Ф. 1. Оп. 4. Д. 1479. Личное дело Обухова В. С. Л. 88 (Институт металлофизики и металлургии — ещё одно бывшее наименование ИФМ УрО РАН)
 23. Устинов В. В. (Гл. ред.), Счастливцев В. М. и др. (Сост.) *Физика металлов на Урале. Выступают физики металлов в годы Великой отечественной войны* (Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2020)
 24. Дорфман Я. Г., Кириков И. К. *Физика металлов* (Л.-М.: Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933)
 25. Кириков А. К. "Брат, учитель, друг", в кн. *Исаак Константинович. Воспоминания современников 2-е изд., перераб. и доп.* (Отв. ред. Н. Н. Пономарев-Становой, Сост. В. М. Воннов, А. Г. Плотицын) (М.: Наука, 1998) с. 10; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/ikirikov-vospominaniya-sovremennikov_1998/p10/
 26. Симоненко Д. Л. "Краткое описание первых экспериментальных работ по разделению изотопов урана в СССР (1942–1948 гг.)", в сб. *История советского атомного проекта: документы, воспоминания, исследования* Вып. 1 (М.: Янус-К, 1998) с. 135, III. Из истории разделения изотопов Урана; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/istoriya-sovetskogo-atomnogo-proekta_v1_1998/p135/
 27. Сулавердиев Г. А., Палкин В. А., Борисевич В. Д., Борман В. Д., Тихомиров А. В. *Теория разделения изотопов в каскадах* (Под ред. В. Д. Бормана) (М.: МИФИ, 2007) Учебное пособие; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/teoriya-razdeleniya-izotopov-v-kaskadakh_2007/p1/
 28. Баблюк Н. С. *50 лет с грифом "Совершенно секретно"* (М.: ООО "Информ-Знак", 2008); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/babliuk_50-let-sovsechno-sekretno_2008/p0/
 29. Смит Г. Д. *Атомная энергия для военных целей. Официальный отчет о разработке атомной бомбы под наблюдением правительства США* (М.: ИздАТ, 2009) с. 209, гл. XI. "Электромагнитное разделение изотопов урана"; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/smyth_atomnaya-energiya_2007/p209/; Пер. с англ.: Smyth H. D. *Atomic Energy for Military Purposes. The Official Report on the Development of the Atomic Bomb under the*
 30. *Auspices of the United States Government, 1940–1945* (Princeton: Princeton Univ. Press, 1945)
 31. Аворин Е. Н., Литвинов В. В., Ильяшев Р. И., Михайлов В. Н. "Создание и развитие ядерно-оружейного комплекса" *Атомная энергия* 86 (6) 431 (1999); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_186-6_1999/p431/; Avorin E. N., Litvinov V. V., Ilyashov R. I., Mikhailov V. N. "History of the nuclear weapons industry" *Atom. Energy* 86 402 (1999) <https://doi.org/10.1007/BF02673191>
 32. "№ 75. Заявка на изобретение В. А. Маслова и В. С. Шинниеля «Об использовании урана в качестве взрывчатого и отражающего вещества» 17 октября 1940 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1945 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кудина) (М.: Наука, 1998) с. 193; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_t1_kn1_1998/p193/
 33. "№ 76. Заявка на изобретение Ф. Ланге, В. А. Маслова, В. С. Шинниеля «Способ приготовления урановой смеси, обогащенной ураном с массовым числом 235. Многокоммерная центрифуга». Не ранее 17 октября — не позднее 31 декабря 1940 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1945 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кудина) (М.: Наука, 1998) с. 196; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_t1_kn1_1998/p196/
 34. "№ 85. Заявка на изобретение Ф. Ланге и В. А. Маслов «Термодиффузионная центрифуга». Не ранее 1 января — не позднее 3 февраля 1941 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1945 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кудина) (М.: Наука, 1998) с. 213; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_t1_kn1_1998/p213/
 35. "№ 164. Записка И. В. Курчатова М. Г. Первушину об испытаниях центрифуг. 29 апреля 1943 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1945 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кудина) (М.: Наука, 1998) с. 340; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_t1_kn1_1998/p340/
 36. "№ 158. Записка И. В. Курчатова М. Г. Первушину о необходимости демобилизации В. М. Кельмина. 1 апреля 1943 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1945 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кудина) (М.: Наука, 1998) с. 328; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_t1_kn1_1998/p328/
 37. "№ 186. Ответ И. К. Кирикова И. В. Курчатову о результатах комбинированной в Стердфорд и состоянии работ по центрифуге и диффузионной установке. 21 сентября 1943 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1945 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кудина) (М.: Наука, 1998) с. 391; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_t1_kn1_1998/p391/
 38. Чиков В. *Русские металлы в США* (М.: Эксмо, 2003); информация на сайте Лайблэк: <https://www.livebook.ru/book/1000024627-russkie-metally-v-ssha-vladimir-chikov>
 39. Харитон Ю. Е., Сырнов Ю. Н. "О некоторых мифах и легендах вокруг советских атомного и водородного проектов", Доклад, прочитанный 12 января 1993 года на сессии Ученого совета в РНИЦ "Курчатовский институт" в связи с 90-летием со дня рождения И. В. Курчатова; в сб. *Человек становится Юный Борисович Харитон* (Под ред. В. Н. Михайлова) (М.: ИздАТ, 1999) с. 124; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/hariton-chelovek-stoitelya_1999/p124/
 40. "№ 151. Записка заведующего Лабораторией № 2 И. В. Курчатова заместителю председателя СНК СССР М. Г. Первушину с анализом содержания разведывательных и предложенных к программе работ. 7 марта 1943 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1945 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кудина) (М.: Наука, 1998) с. 314; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_t1_kn1_1998/p314/

40. Скорынин Г.М. "Газовые центрифуги для разделения изотопов. Часть 4. Создание в СССР промышленной технологии обогащения урана центрифужным методом". Агентство ПрОАтом. 07/05/2019. <https://www.proatom.ru/modules.php?name=News&id=8577>
41. "№ 184. План работы Лаборатории № 2 на второе полугодие 1943 г. 18 августа 1943 г. Обязательная записка в плану работ Лаборатории № 2 Академии наук СССР на второе полугодие 1943 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1943 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кузнецова) (М.: Наука, 1998) с. 386; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_1_kn1_1998/p386/
42. Халипов П.А. "Я агент НКВД" *Вестник УрО РАН* 1 (3) 19 (2003)
43. "№ 196. Доклад И.К. Кирикова «О разделении изотопов урана» на заседании Технического совета Специального комитета при ГКО. Не позднее 10 сентября 1945 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1943 Ч. 2 (Отв. сост. Л. И. Кузнецова) (М.: Изд-во МФТИ, 2002) с. 367; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_1_kn2_2002/p367/
44. Насонов В. "Благородное искусство — портить отношения с начальством. К столетию со дня рождения Фрида Ланге — немецкого ученого, работавшего над созданием советской атомной бомбы", *Независимая газета* № 06(42) 20 июня 2001 г.; архивная копия в онлайн-архиве библиотеки "Архив Интернета" (Wayback Machine) от 12 июля 2007: http://web.archive.org/web/20070124164816/http://science.nyu.ru/infe/2000-01-19/7_dit.html
45. "№ 404. Из доклада П.Г. У.В. Сталину «О состоянии работ по получению и использованию атомной энергии» 17 января 1946 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1943 Ч. 2 (Отв. сост. Л. И. Кузнецова) (М.: Изд-во МФТИ, 2002) с. 413; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_1_kn2_2002/p413/
46. "Записка И.К. Кирикова и А.И. Алиханова М.Г. Первушину «Состояние проблемы разделения изотопов урана» 4 января 1944 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1943 Ч. 2 (Отв. сост. Л. И. Кузнецова) (М.: Изд-во МФТИ, 2002) с. 15; в кн. *И.К. Кириков — Физик и Судьба* (Сер. Памятники отечественной науки. XX век, Отв. ред. С. С. Якимов) (М.: Наука, 2008) с. 339; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/kikoin-fizika-i-sudba_2008/p339/
47. "№ 193. Справка И.В. Курчатова «О состоянии работ по проблеме на 27 ноября с.г.», представленная М.Г. Первушину. 28 ноября 1943 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 1 1938–1943 Ч. 1 (Отв. сост. Л. И. Кузнецова) (М.: Наука, 1998) с. 403; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_1_kn1_1998/p403/
48. Ракон Э.Г. "Уран (химический элемент)", Научно-образовательный портал "Большая российская энциклопедия", <https://bigenc.ru/chem/khimicheskiy-element-atomnaya-raznitsa-17848789125>
49. Андреева О.С., Бадян В.И., Корнилов А.Н. *Природный и обогащенный уран. Радиационно-химические аспекты* (М.: Атомиздат, 1979); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/andreeva_prirodnyy-i-obogashchennyy-uran_1979/p0/
50. Баранов М.И. "Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 40: Научные открытия метода ядерной реакции для получения сверхкритической массы ядерного заряда в украинский «случай» в американском атомном проекте «Манхэттен» *Электротехника и электромеханика* (5) 3 (2017); электронная версия на сайте Научной электронной библиотеки "КиберЛенинка": <https://cyberleninka.ru/article/n/antologiya-vydauschischiyach-dostizheniy-v-nauke-i-tehnike-chast-40-nauchnoe-otkrytie-metoda-yadernoy-improxi-dlya-roizasheniya>
51. "№ 253. Постановление СМ СССР № 1127-402сс/оп «О плане специальных научно-исследовательских работ на 1948 год». 6 апреля 1948 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 2 *Атомная бомба. 1943–1954* Кн. 3 (Отв. сост. Г. А. Гончаров) (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2002) с. 431; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_2_kn3_2002/p431/
52. Суэтин П.Е. "У истоков атомной проблемы. Как начинался Уральский Физтех" *Известия УрГУ* (12) 83 (1999); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/suetin_u-istokov-atomnoy-problemy_1999/p83/
53. Гончаров В.В. "Первый период развития атомной энергетики в СССР", в сб. *История атомной энергетики Советского Союза и России* Вып. 1 (Под ред. В.А. Садоренко) (М.: ИздАТ, 2001) с. 16; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v1_2001/p16/
54. "№ 135. Доклад Л.П. Берия, Б.Л. Ванникова, А.П. Завенягина, И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитона и К.И. Щелкина И.В. Сталину о ходе выполнения заданий на 1951 год и о программе работ по развитию атомной промышленности в 1951–1955 гг. 16 ноября 1951 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 2 *Атомная бомба. 1943–1954* Кн. 7 (Отв. сост. Г. А. Гончаров) (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, М.: Физматлит, 2007) с. 342; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_2_kn7_2007/p342/
55. Калган Ю.М. "Академик И.К. Кириков. 100 лет со дня рождения", в кн. *И.К. Кириков — Физик и Судьба* (Сер. Памятники отечественной науки. XX век, Отв. ред. С. С. Якимов) (М.: Наука, 2008) с. 7; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/kikoin-fizika-i-sudba_2008/p7/
56. "№ 266. Из постановления СМ СССР № 1679-658сс/оп «О мерах по подготовке к пуску и эксплуатации Государственного машиностроительного завода Первого главного управления при Совете Министров СССР». 22 мая 1948 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рябева) Т. 2 *Атомная бомба. 1943–1954* Кн. 3 (Отв. сост. Г. А. Гончаров) (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2002) с. 472; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-issr_2_kn3_2002/p472/
57. Баженов В.А. и др. "Освоение газодиффузионного метода разделения изотопов урана на УЗХК", в сб. *Разработка и создание газодиффузионного метода разделения изотопов в СССР (Россия)* (СПб.: ЛНИИ "Обанк", 2002) с. 115; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/razrabotka-gazodifuzionnogo-metoda-razdeleniya-izotopov_2002/p115/
58. Симонович Д.Л. "О некоторых эпизодах совместной работы с И.К. Кириковым", в кн. *И.К. Кириков — Физик и Судьба* (Сер. Памятники отечественной науки. XX век, Отв. ред. С. С. Якимов) (М.: Наука, 2008) с. 659; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/kikoin-fizika-i-sudba_2008/p659/
59. Цуерман В.А., Азарх З.М. *Вода и энергия* (Арзамас-16: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1994); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/tsuerman-azarh_voda-i-energiya_1994/p0_o/
60. Дроеников И.С., Романов С.В. "Уран-43" *Природа* (6) 74 (2004); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/droenikov-uran-45_2004/p74/
61. Артемов Е.Т., Бедель А.Э. *Ускорение урана: Страницы истории Уральского электротехнического комбината* (Новоуральск: СВ-96, 1999); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/artemov_ukoschenie-urana_1999/p0/
62. Мазур В.А. "«Паша Карло». К столетию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР Сергея Васильевича Карначева, ректора Уральского университета в 1956–1963 гг." *Известия УрГУ* (40) 234 (2006); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elbib.biblioatom.ru/text/mazur_pasha-karlo_2006/p234/
63. История Росатома. Электронная библиотека. Персоналии: Карначев Сергей Васильевич, <https://www.biblioatom.ru/persons/karnachev-sergey-vasilievich/>
64. "№ 137. Постановление СМ СССР № 4964-2148сс/оп «О награждении и премировании за выдающиеся научные работы

- в области использования атомной энергии, за создание новых видов изделий РДС, достижения в области производства плутония и урана-235 и развития сырьевой базы для атомной промышленности. 6 декабря 1951 г.", в сб. *Атомный проект СССР. Документы и материалы* (Под общ. ред. Л. Д. Рыбака) Т. 2 *Атомная бомба. 1945 – 1954* Кн. 7 (Отв. сост. Г. А. Гончаров) (Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, М.: Физматлит, 2007) с. 351; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-kn7_2_kn7_2007/p351/
65. Емельянов А. Ф. *Соло на центрифуге* (М.: АНО "Информационный центр атомной отрасли", 2013); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/emelyanov_solo-na-centrifuge_2013/p0/
 66. Uranium Enrichment, updated 11 October 2022. World Nuclear Association, <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment.aspx>
 67. Симоненко О. Д. "Экспериментальные исследования для создания промышленных методов разделения изотопов урана в СССР в 1943 – 1950 гг.", в сб. *Наука и общество: история советского атомного проекта (40-е – 50-е годы). Труды международного симпозиума ИСАП-96, Дубна, 14 – 18 мая 1996* Т. 2 (Отв. ред. Ю. В. Гапонов) (М.: ИздАТ, 1999) с. 438; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-sovetskogo-atomnogo-proekta_2_1999/p438/
 68. Горелик Г. Е. "Виталий Гинзбург: наука и нрав нобелевского лауреата. По страницам Литгазеты", в кн. Гинзбург В. *Письма к любимой* (М.: Время, 2016) с. 353 (предисловие к книге); https://gorelik.wordpress.com/список-публикаций/виталий-гинзбург-письма-к-любимой-м/й_Toc440138931
 69. Васильев А. П. "Система дальнего обнаружения ядерных взрывов и советский атомный проект", в сб. *История советского атомного проекта: документы, воспоминания, исследования* Вып. 2 (Отв. ред. и сост. В. П. Визгин) (СПб.: РХГИ, 2002) с. 237; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-sovetskogo-atomnogo-proekta_v2_2002/p237/
 70. Пресул Т. С. "Штрихи к портрету Сергея Константиновича Садорова", в сб. *Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах* (Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012) с. 259; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/fizika-metallov-na-urale_2012/p259/
 71. Пушня В. Г., Буйнова Л. Н. "Вехи пути: биография Николая Николаевича Буйнова", в сб. *Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах* (Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012) с. 329; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/fizika-metallov-na-urale_2012/p329/
 72. История Росатома. Электронная библиотека. Персоналии: Тарасов Димодор Михайлович, https://www.biblioatom.ru/persons/tarasov_dimodor_mikhailovich/
 73. Тарасов М. Д. *История семьи из закрытого города* 2-е изд., перераб. и доп. (Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2020); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/tarasov_istoriya-semyi_2020/p0/
 74. Литвинов Б. В. *Грани прошедшего (Трибуны)* (М.: ИздАТ, 2006); электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/litvinov_grani-proshedshego_2006/p0_0/
 75. "К 120-летию со дня рождения Антонов Пантелеймоновича Комара". Раздел "Стенды Персоналий Института". Сайт Отделения Физики Высоких Энергий НИИ "Курчатовский институт" — ПИЯФ, https://herp.pri.srb.ru/herp/Muzej_PNPI/stendy_personalij_instituta/stend_komar.pdf
 76. *Комар Антон Пантелеймонович* (Уральский государственный университет в биографиях, Сост. В. А. Мазур) (Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного ун-та, 2010); https://biography.ideaifx.co/index55e9.html?base-tag&id-a_0130
 77. Пушня В. Г. "Становление и развитие исследований структурных и фазовых превращений в Институте", в сб. *Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах* (Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012) с. 389; электронная версия на сайте "История Росатома. Электронная библиотека": https://elib.biblioatom.ru/text/fizika-metallov-na-urale_2012/p389/
 78. Насырева М. М. "Фриш Францек Ланге", в сб. *Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах 1.0* (Сост. И. Ю. Арапова и др.) (Екатеринбург: Институт физики металлов, 2023) с. 205
 79. Гудина С. В. "Дания Лукич Симоненко", в сб. *Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах 1.0* (Сост. И. Ю. Арапова и др.) (Екатеринбург: Институт физики металлов, 2023) с. 294
 80. Воспоминания Выпускника Физтеха УПИ Волкова Владимира Владимировича. Сайт ФизикоТехник, https://new.fizikotekhnika.ru/FizikoTekhnika_Narod/FizikoTekhnika_MemVvv.htm
 81. Лундин А. Б. "«Я всю жизнь занимался тем, что меня интересовало» (о Борисе Николаевиче Лундине)", в сб. *Актуальные проблемы химии и технологии органических веществ. История, проблемы органического синтеза, перспективы* (Отв. ред. В. И. Салютин, О. В. Федорова) (Екатеринбург: УрО РАН, 2002) с. 39
 82. Александров А. П., Бельев С. Т., Велихов Е. П., Каган Ю. М., Кадомцев Б. Б., Легасов В. А. "Памяти Исаака Константиновича Кикоина" *УФН* 149 347 (1986); Alexandrov A. P., Belyaev S. T., Velikhov E. P., Kagan Yu. M., Kadomtsev B. B., Legasov V. A. "Isaak Konstantinovich Kikoin (Obituary)" *Sov. Phys. Usp.* 29 585 (1986)
 83. Ильяев Р. И., Рыбев Л. Д. "Академики наук и реализация Атомного проекта в СССР (к 75-летию Атомной отрасли)" *УФН* 192 528 (2022); Ilyayev R. I., Ryabev L. D. The Academy of Sciences and implementation of the Atomic Project in the USSR (on the 75th anniversary of the Atomic industry)" *Phys. Usp.* 65 488 (2022)

Employees of the Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences and the development of the Soviet Atomic Project

S.A. Gudin

Mikhail Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
ul. S. Kovalenskoi 18, 620108 Ekaterinburg, Russian Federation. E-mail: gudin@imp.uran.ru

The paper highlights the contribution of the employees of the Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences to the first stage of the USSR Atomic Project. The main challenge of the project was the need to solve one of the most difficult problems that the developers of the USSR atomic shield faced — industrial separation of uranium isotopes. Thus, in 1943, I.K. Kikoin directed the first work on isotope separation using diffusion and centrifuge methods at the institute. I.K. Kikoin was appointed I.V. Kurchatov's deputy and was the main person responsible for the development of an industrial method for producing uranium-235 isotopes.

Keywords: USSR Atomic Project, industrial separation of uranium isotopes, isotope separation by gaseous diffusion, isotope separation by centrifuge methods, uranium-235, Ural Physico-Technical Institute (UralFTI), counterflow centrifuges

PACS number: 01.65.+g

Bibliography — 83 references

Uspekhi Fizicheskikh Nauk 194 (7) 765 – 789 (2024)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.02.039648>

Received 16 September 2023, revised 14 February 2024

Physics – Uspekhi 67 (7) (2024)

DOI: <https://doi.org/10.3367/UFNr.2024.02.039648>