

Свердловск и становление атомного проекта СССР

С.А. Гудин

*Институт физики металлов имени М.Н. Михеева
УрО РАН, Екатеринбург, Россия*



РФЯЦ-ВНИИТФ
РОСАТОМ

19 – 23 мая 2025 года





<https://spfks.imp.uran.ru/>

**XXIV Всероссийская школа-семинар по проблемам
физики конденсированного состояния вещества,
посвященная 100-летию со дня рождения Е.А. Тuroва
(СПФКС–24)
14 – 20 марта 2025 г.**

ТЕМАТИКА ШКОЛЫ-СЕМИНАРА:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Магнитные явления• Фазовые переходы и критические явления• Проводимость и транспортные явления• Резонансные явления• Структурные и механические свойства твёрдых тел• Неразрушающий контроль | <ul style="list-style-type: none">• Теплофизика• Электрофизика• Наноматериалы• Сверхпроводимость и физика низких температур• Оптика и спектроскопия• Теория конденсированного состояния• Биофизика |
|---|--|

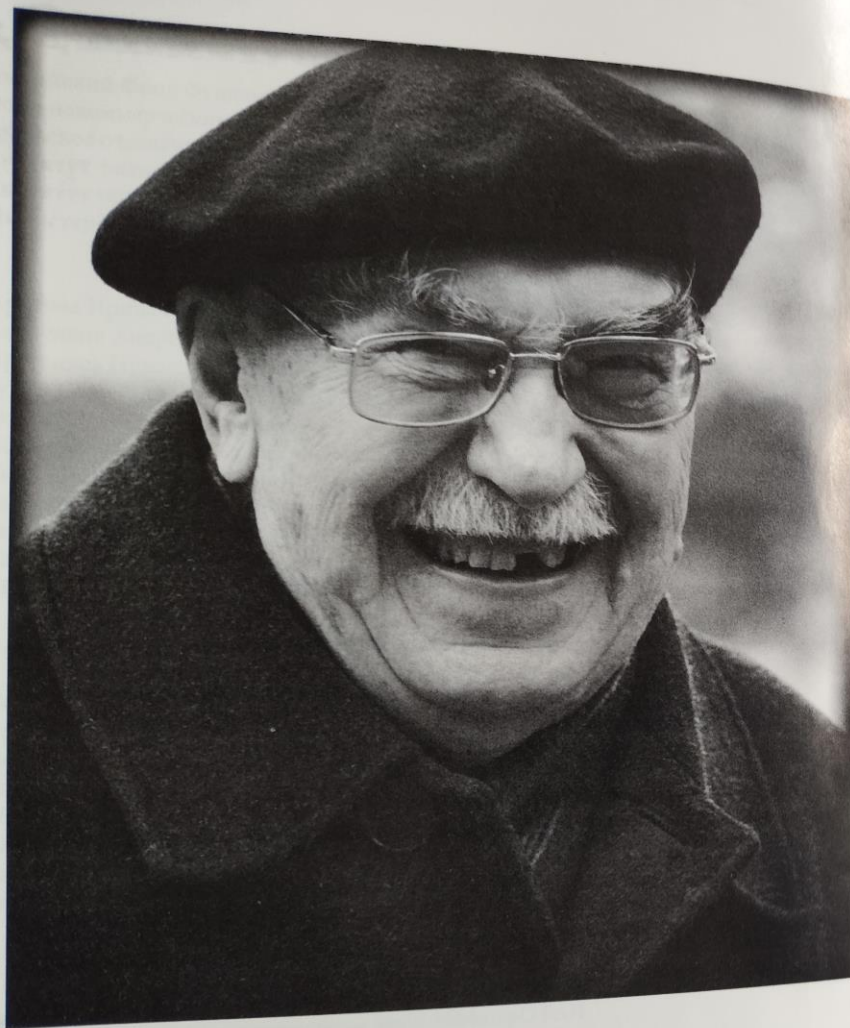
Уральское отделение РАН
Институт физики металлов УрО РАН
Институт теплофизики УрО РАН

Памяти академика Литвинова Д.Ф.
XI ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЁЖНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР
по проблемам физики конденсированного состояния вещества

Мезисы докладов

15 - 21 ноября 2010 г.

Екатеринбург
2010 г.



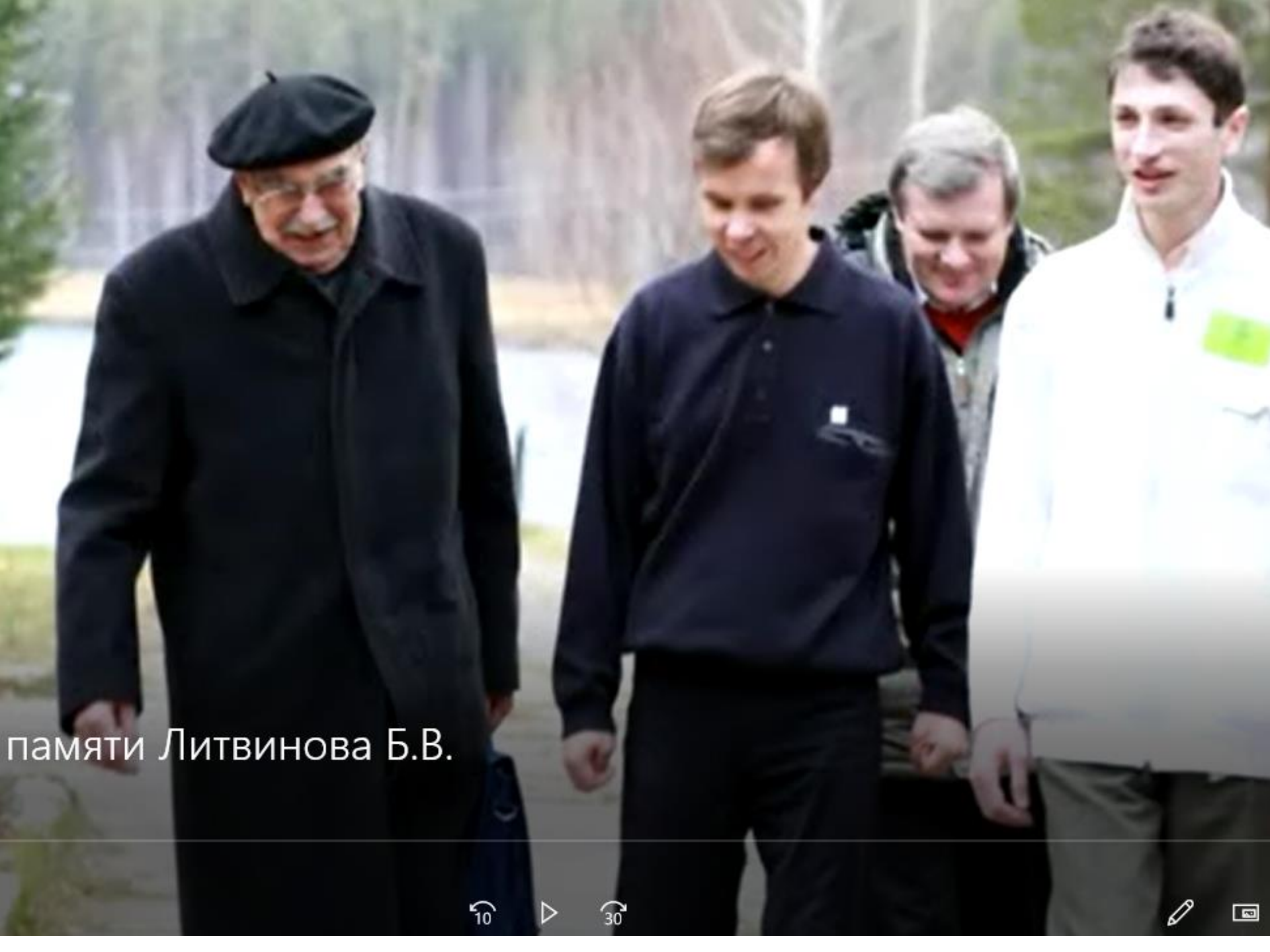
Борис Васильевич Литвинов
(12.11.1929, г. Луганск, Украинская ССР – 23.04.2010, г. Снежинск Челябинской обл.)

Уральское отделение РАН
Институт физики металлов УрО РАН
Институт теплофизики УрО РАН

Памяти академика Литвинова Б.В.
XI ВСЕРОССИЙСКАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР
по проблемам физики конденсированного состояния вещества
15 - 21 ноября 2010 г.


спаркс
Программа

Екатеринбург
2010 г.



памяти Литвинова Б.В.





Владимир Семёнович Обухов (1909-1963)
«Физика металлов на Урале. История
Института физики металлов в лицах 2.0».
Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2023, 440 с.

Гудин С.А. Сотрудники Института физики
металлов УрО РАН и становление атомного
проекта СССР, Успехи физических наук Т.
194, Вып. 7, с.765-789, 2024

<https://ufn.ru/ru/articles/2024/7/e/>

1949 год рабочий-сборщик на фоне массо-
габаритного макета первой советской
бомбы РДС-1 («реактивный двигатель
специальный»).

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

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

С.А. Гудин

1. Введение (765).
2. Начало Атомного проекта (766).
3. Электромагнитный метод разделения изотопов (767).
4. Первые исследования на центрифуге Ланге (768).
5. Помощь советской разведки (771).
6. Начало работ по Атомному проекту в Свердловске (772).
7. Пористые фильтры (773).
8. Перенос работ из Свердловска в Москву (774).
9. Вопрос рецензента (775).
10. Уральский электрохимический комбинат (775).
11. Павел Акимович Халилеев (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 Сидоров (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 эпилога (785).
22. Приложение (785).
 - 22.1. Историческая справка.
 - 22.2. Физическая справка.

Список литературы (786).



“...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...”

Смит Г.Д. Атомная энергия для военных целей: Официальный отчет о разработке атомной бомбы под наблюдением правительства США. М.: Трансжелдориздат, 1946

Вклад Института физики металлов УрО РАН в Атомный проект СССР малоизвестен. Связано это с тем, что его сотрудники были переведены из института в другие структурные подразделения (Лаборатория № 2 АН СССР, Уральский электрохимический комбинат (г. Новоуральск), КБ-11 (РФЯЦ-ВНИИЭФ) г. Саров. и др.). Большая часть из них занималась задачей по разделению изотопов урана под руководством Исаака Константиновича Кикоина. **Но история могла пойти и по иному пути.** 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. Все 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 ее разрешении непосредственно было заинтересовано Правительство, которое полностью оценило жизненную необходимость ее 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».* 4

28 сентября 1942 года вышло распоряжение Государственного Комитета Обороны СССР № ГКО-2352сс «**Об организации работ по урану**» [2], и в середине октября 1942 года 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]. В конце 1942 года И.В. Курчатов посетил в Свердловске лабораторию И.К. Кикоина, видимо, был удовлетворен качеством и количеством работ, их связью с промышленностью, и вскоре Исаак Константинович был привлечен к работе по разработке промышленного метода разделения изотопов урана с целью получения урана-235, став заместителем Курчатова. В начале 1943 года И.К. Кикоин был переведен в Москву. 29 сентября 1943 года общее собрание академии наук СССР избрало И.К. Кикоина членом-корреспондентом Академии наук СССР, а И.В. Курчатова - действительным членом Академии наук СССР. Кикоин стал научным руководителем одного из основных направлений Уранового проекта - разделение изотопов урана с целью получения изотопа урана-235. И.К. Кикоин: *«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...»* С.6 [4]

К Атомному проекту на первом этапе было привлечено достаточно много сотрудников ИФМ, удалось установить фамилии 17 человек: И.К. Кикоин, В.С. Обухов, Д.Л. Симоненко, М.В. Якутович, С.В. Карпачев, И.Н. Поляков, П.А. Халилеев, С.К. Сидоров, А.П. Комар, Д.М. Тарасов, Н.Н. Буйнов, Л.В. Буланая, В.Н. Тюшевская, В.С. Аверкиев, А.К. Кикоин, Бардин, М.И. Корсунский.

Что это за люди, почему они были привлечены к Атомному проекту и занимались ли до этого атомными исследованиями? ИФМ УрО РАН (первоначальное название Уральский физико-технический институт) был создан в 1932 г. на базе выделенной из Ленинградского физико-технического института группы сотрудников. И.К. Кикоин возглавлял лабораторию электрических явлений созданного института.

В 1942 г. выходит статья И. К. Кикоина, С.В. Губаря, В.С. Обухова «Новая система электроизмерительной аппаратуры для измерения постоянных токов большой силы» [18]. В том же году авторы статьи 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? И. К. Кикоин, С.В. Губарь, В.С. Обухов разработали, **сконструировали и изготовили следующие приборы, позволяющие проводить измерения при токах до 75 000 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), килоамперметры цеховые с большой шкалой диаметром до 800 мм, счетчики киловатт-часов, счетчики ампер-часов. **Во время войны лаборатория И.К. Кикоина оснастила этими приборами большое число уральских заводов.**

На алюминиевом заводе, построенном в г. Каменск-Уральском Свердловской области, требовалось измерять токи до 75 000 А, шунт амперметра на такой ток весил бы 2000 кг, но кроме этого была еще трудность принципиального характера, требовалось, чтоб металл шунта не содержал зерен. Завод удалось запустить в 1939 г. только после того, как при помощи созданных группой И.К. Кикоина амперметров были отрегулированы электролитические ванны.

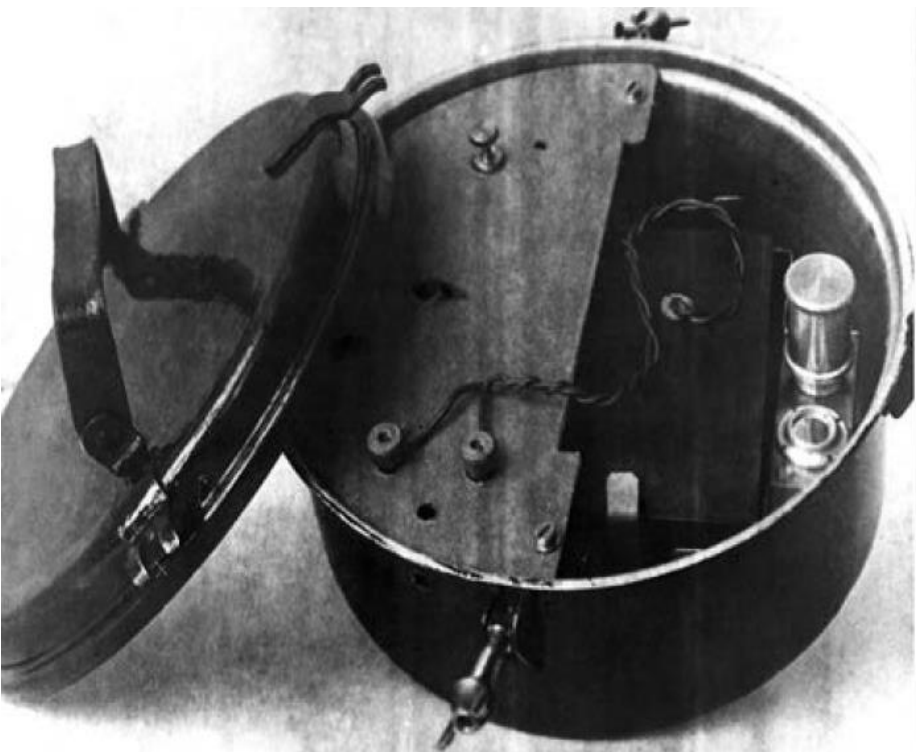


Владимир Семёнович Обухов



Василий Сергеевич Аверкиев

По заданию огнеметно-минометного управления НКО к декабрю 1941 г. была разработана противотанковая магнитная (глубинная) мина. И.К. Кикоин пишет: *«Сейчас изготовлен опытный образец мины и ведутся ее испытания. ... Готовится разработка противотанковой авиационной мины и др.»*. В.С. Аверкиев вспоминает: *«Занимались разработкой конструкции портативной мины для партизан. Требования были очень жесткие: маленький размер и вес, герметичность (чтобы мины можно было оставлять в болоте, и они бы в течении нескольких дней не портились), нужно было также, чтобы мины не взрывались от детонации»*.



Отдел Изобретательства Красной Армии

★

СПРАВКА

(взамен авторского свидетельства)

Дана настоящая справка гр. АВЕРКИЕВУ, ОБУХОВУ и КИКОИНУ.

в том, что ему Отделом изобретательства Красной Армии 26 декабря 1944 г. выдано, не подлежащее опубликованию, авторское свидетельство, зарегистрированное в Бюро изобретений при Госплане Союза ССР за № 4897с.

Авторское свидетельство гр. АВЕРКИЕВА, ОБУХОВА и КИКОИНА хранится в ОИ КА в деле № 7680 инж.

Начальник Отдела изобретательства Красной Армии инженер-полковник: — (В. Глухов).

№ 1011/155

25 января 1945 г.

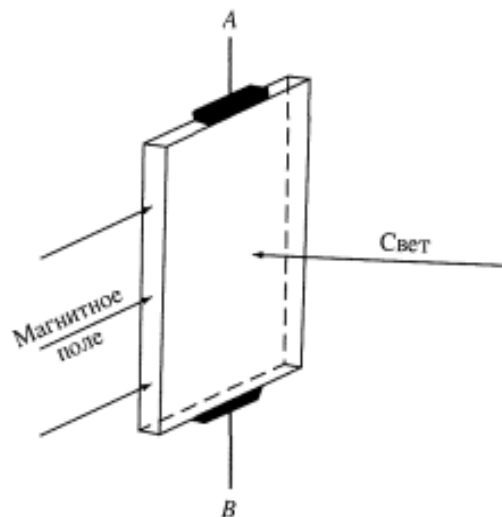
Москва, Красная площадь, 2-й дом НКО

Упомяну и фундаментальные исследования, обогатившие мировую науку: исследования по гиромангнитному эффекту в сверхпроводниках, открытие фотоэлектромангнитного эффекта Кикоина – Носкова.

О НОВОМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ЭФФЕКТЕ В ЗАКИСИ МЕДИ*

В первой работе под таким же названием [1] описано открытие нового фотоэлектрического эффекта в закиси меди, свойства которого чисто качественного характера, как и свойства фотоэлектрического эффекта в металлах.

В этой заметке я хочу сообщить о некоторых опытах и некоторых количественных измерениях этого эффекта.



Напомню, что в этой работе описано открытие нового фотоэлектрического эффекта в закиси меди, свойства которого чисто качественного характера, как и свойства фотоэлектрического эффекта в металлах. В этой заметке я хочу сообщить о некоторых опытах и некоторых количественных измерениях этого эффекта.



И.К. Кикоин и М.М. Носков, конец 1930-х гг.

В 1943 г. к работам по атомной тематике И.К. Кикоиным были привлечено только несколько сотрудников лаборатории. Так Абрам Константинович Кикоин 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 ведет. В 1945 г. брат с семьей окончательно переехал в Москву»* (С.17 [25]). 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 Фрицовичу Ланге, в вышеупомянутом Распоряжение ГКО № 2352сс от 28 сентября 1942 года «Об организации работ по урану», предписывалось создать центрифугу для обогащения урана. Третий участник этих работ - Данил Лукич Симоненко.

Приступая к работе, необходимо было определиться с методом разделения. Д.Л. Симоненко (С.146 [26]): *«обсуждалось три метода: диффузионный с применением каскадирования по схеме Герца, центробежный с применением секционированных центрифуг с осевой циркуляцией и, как ни странно, фотохимический метод»* С.146. И.К. Кикоин: *«Центробежным методом поручили заниматься харьковскому профессору Ф.Ф. Ланге, который занимался этим методом еще находясь в Германии. Электромагнитный метод взял на себя Л.А. Арцимович, который до этого занимался электронной оптикой. Мы с привлеченным к этим делам Я.Б. Зельдовичем занялись диффузией»* (С.6 [4]).

У центробежного метода был существенный задел. В 1940 г. группа Ланге подала заявку на изобретение *«Об использовании урана в качестве взрывчатого и отравляющего вещества»* (17 октября 1940 г. В. А. Маслов и В. С. Шпинель [27]). Вскоре после этого в 1940 г. Ф. Ланге, В. А. Маслов, В. С. Шпинель подали заявку на изобретение *«Способ приготовления урановой смеси, обогащенной ураном с массовым числом 235. Многокамерная центрифуга»*, по которой было выдано авторское свидетельство №6359с (индекс с, означающий, что свидетельство было засекречено, появился в 1945 г.) [28].



Не ранее 1 января и не позднее 3 февраля 1941 г. группой Ланге была подана заявка на изобретение - *"Термоциркуляционная центрифуга"* [29]. Если ознакомиться внимательно с этими 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.

Ф. Ланге (слева), А. Браш 1930 г.

Изготовлением первой центробежной машины в Уфе в 1943 г. руководил И.К. Кикоин. Уже на этапе сборки ему пришлось вносить усовершенствования в конструкцию (при первичных испытаниях из-за больших нагрузок (вибрации) 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 Первухину М.Г об испытаниях центрифуги 29 апреля 1943 г. (С. 344 в [30]) И.К. Кикоин: *«Считаю необходимым отметить, что проф[ессор] 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 уплотнения на вакуум, которая не испытывалась даже в покоем состоянии. При наличии колоссальных центробежных сил во вращающейся машине дело существенно усложнится. Кое-что мы пытались исправить на месте, остальное придется дodelывать здесь».*

Ф.Ф. Ланге привез в Свердловск, в лабораторию Кикоина изготовленную на Уфимском авиационном заводе центрифугу. Центрифуга, весящая около тонны, была смонтирована на специальном фундаменте в подвальном помещении института.



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

Из воспоминаний Д.Л. Симоненко (С. 138 в [26]): «Весной 1943 года в лабораторию электрических явлений УФАИ, возглавляемую И.К. Кикоиным, был прикомандирован Ф.Ф. Ланге... Меня вызвали в дирекцию УФАИ и сообщили, что вон там, у подъезда, находится профессор Ланге, он прибыл из Уфы и привез с собой часть научного оборудования. ... В тот же день все ящики были перенесены в лабораторию и вскрыты. В ящиках были упакованы основные детали центрифуги для разделения изотопов...Как выяснилось, эта машина еще ни разу не была собрана и не проверена в действии». Из записки И.В. Курчатова народному комиссару химической промышленности Первухину М.Г. 1 апреля 1943 г. [31]: «Проф[ессор] Ланге не имеет сейчас ни одного сотрудника, и Лаборатория [№2] выделяет ему для ускорения работ двух сотрудников Кикоина – тт. Симоненко и Полякова ...».

Д.Л. Симоненко вспоминает: «К весне 1944 года 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 какое-либо заключение» (С.150 в [26]).

Помощь советской разведки

Существенную помощь в «организации работ по урану» оказала советская разведка. По версии Владимира Матвеевича Чикова (из книги *«Русские нелегалы в США»* [33]) к изучению данных, полученных разведкой, из ученых был привлечен 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. Кикоина и своего брата Б.В. Курчатова. Курчатов очень критически относился к материалам разведки, как вспоминает Ю.Б. Харитон: *«Он сомневался, «отражают ли полученные материалы действительный ход научно-исследовательской работы», предполагал, что они могут оказаться «вымыслом, задачей которого является дезинформация нашей науки»* С. 135 [38].

Разведданные, поступали от разведчиков (агент Чарльз - доктор Эмиль Юлиус Клаус Фукс, агент Персей - Артур Филдинг). Проверкой разведданных с целью определения их *«объективности и достоверности источников»*. занималась группа Кикоина. В отзыве Кикоина 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»*.

Конечно, разведданные значительно ускоряли процесс, так И.К. Кикоин пишет: *«Расчет, сделанный в этой работе, весьма остроумен и может быть использован при детальном конструировании машины. ... Эта последняя работа имеет наибольший интерес, ибо дает представление о производственной схеме разделительного завода»*. В записке от 7 марта 1943 года, посвященной анализу данных, предоставленных советской разведкой, И.В. Курчатов писал: *«Наиболее ценная часть материалов относится к задаче разделения изотопов. 1. Единственно рациональным путем ее решения принимается разделение изотопов при помощи диффузии через мембрану с мелкими отверстиями. Предпочтение методу центрифугования для наших физиков и химиков явилось неожиданным. У нас была распространена точка зрения, согласно которой возможности метода центрифугования стоят значительно выше возможностей метода диффузии, который считается практически неприменимым для разделения изотопов тяжелых элементов. В соответствии с этой точкой зрения вначале при постановке работ по проблеме урана предусматривались исследования только центрифугой (метод Ланге)»* (С.314 в [35]).

ЗАПИСКА И.К. КИКОИНА М.Г. ПЕРВУХИНУ О СОДЕРЖАНИИ РАЗВЕДМАТЕРИАЛОВ ПО ДИФУЗИОННОЙ УСТАНОВКЕ И ЗАВОДУ, ПОСТУПИВШИХ ИЗ НКГБ СССР

Не ранее 30 июля 1944 г.

Сов. секретно

Материалы от 27.VII в большей своей части посвящены вопросам устойчивости разделительной установки и являются дополнением к обширному вычислительному материалу, полученному ранее. Эти материалы будут иметь *большое значение* при разработке способов регулирования процесса разделения.

Несколько страниц посвящено анализу *весьма важного* вопроса о влиянии толщины сеток на процесс разделения. Анализ произведен совершенно правильно (*мы сами занимались этим вопросом и пришли к аналогичным выводам*).

На 1 странице приведены численные показатели, касающиеся установки с производительностью 1,86 кг вещества в день. С такой установкой мы встречаемся впервые, и из приведенных цифр трудно что-либо заключить. Самостоятельного интереса эти цифры не имеют.

Материалы от 30.VII *весьма интересны и важны*, поскольку они показывают, что по крайней мере часть завода уже работает и эксплуатируется.

В тексте этих материалов (на 3 страницах) дается описание небольшого эскиза расположения зданий завода. Этот эскиз наклеен на большой чертеж, который тоже представляет собою схему расположения зданий завода. В описании указано, что небольшой эскиз является схемой зданий, не нанесенных на большой чертеж. Указано, что здания эти полностью отгорожены, и дается лишь внешнее описание того, что видно со стороны. По этому краткому описанию можно приблизительно догадаться, о чем идет речь.

Материалы (текстовой и графический, последний – в особенности) *крайне важны*, ибо дают некоторое представление о масштабе сооружений. *Всякое умножение этого материала было бы необычайно важно и оказало бы большую помощь.*

Кикоин

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И.К. КИКОИНА О СОДЕРЖАНИИ РАЗВЕДМАТЕРИАЛОВ ПО ДИФфуЗИОННОЙ УСТАНОВКЕ И ЗАВОДУ, ПОСТУПИВШИХ ИЗ НКГБ СССР*

Не ранее 25 декабря 1944 г.
Сов. секретно

1. Степень разделения мембран.

Эта работа имеет существенный интерес. В ней рассматривается практический вопрос о влиянии конечной толщины мембраны, вследствие чего отверстия не могут рассматриваться как бесконечно короткие. Это обстоятельство несколько уточняет расчетные формулы для обогащения и для проницаемости мембран. Соответствующие уточненные формулы и приведены в этой работе.

2. "Испытание мембран".

В этой работе трактуется о методах испытания мембран на обогащение и проницаемость. В этой работе вкратце излагаются разные методы, применяемые для этих испытаний. Существенное значение этой работы заключается в том, что она позволяет сравнить методы, изложенные здесь, с применяемыми нами методами.

3. В работе "Расположение завода" излагаются детали, касающиеся расположения отдельных зданий и сооружений завода. К сожалению, из текста не становится ясным, идет ли речь о расположении зданий на чертеже (по проекту) или же о зданиях, имеющих в натуре. *Важность этого вопроса сама собою разумеется.*

4. Остальные работы посвящены теоретическому рассмотрению устойчивости установки в целом и исследованию уменьшения степени разделения, обусловленного различными причинами (отключения части ступеней для ремонта, наличия мертвых объемов, возникновения флуктуаций плотности газа и т.п.).

Вместе с ранее полученными материалами, посвященными этим же проблемам, образуется весьма полный и ценный теоретический разбор производительности и устойчивости установки.

Из объяснительной записки И.В. Курчатова к плану работ Лаборатории N2 на второе полугодие 1943 г. 18.08.1943: *«К концу 1943 г. Лаборатория N2 предполагает: 1. Разделить изотопы урана и получить при помощи ультрацентрифуги несколько миллиграммов урана-235. ... 3. Провести опыты и расчеты, необходимые для конструирования диффузионной машины для разделения изотопов»* [37]. В самом плане работ указано, что по пункту 1. работают Кикоин, Ланге, Симоненко. Пункт 3. исполняют Кикоин, Поляков. Этот пункт конкретизирован: *«а) выбор и исследование физико-химических свойств рабочей жидкости – 1 сентября 1943; б) выбор и расчет основных размеров машины – 1 октября 1943 г.; в) разработка метода получения сеток для модели диффузионной машины – 1 декабря 1943 г.»*.

В отчете И.К. Кикоина И.В. Курчатову о результатах командировки в Свердловск и состоянии работ по центрифуге и диффузионной установке 21.09.1943 [32] говорится, что *«опыты по диффузионному методу разделения во время моего отсутствия не велись ввиду загруженности т. Симоненко работой на центрифуге»*.

Д.Л. Симоненко



В сентябре 1945 года И.К. Кикоин в докладе «О разделении изотопов урана» на заседании Технического совета Специального комитета при ГКО привел «краткий обзор методов разделения изотопов», проведенных в Лаборатории № 2 АН СССР. О методе центрофугирования в докладе говорилось (С.370 в [39]): «В 1943 году на заводе № 26 НКАП (в г. Уфа) была построена опытная центрифуга по методу Ланге (центрифуга с <противотоком>) и в том же году была установлена в лаборатории Кикоина 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 обогащенного легким 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/ сутки на метр длины), мы решили отказаться от промышленного осуществления такой машины».

В конце 1943 г. группа Кикоина 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. Кикоина синтезирована в конце 1943 года в Радиевом институте, возглавляемом профессором В.Г. Хлопиным. Получив это вещество, И.К. Кикоин еще в Свердловске с помощью своих сотрудников Д.Л. Симоненко, В.С. Обухова, и В.Н. Тюшевской провел детальное исследование основных его физических свойств, которые необходимо знать для осуществления диффузионного процесса. Это зависимость упругости пара от температуры, теплоемкость, вязкость, скорость звука»* (С.14 [4]).

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

Добавлю информацию про **высокую химическую агрессивность** гексафторида урана, добавившую немало трудностей при создании газодиффузионной технологии разделения изотопов урана. *«Он реагирует почти со всеми химическими элементами и, отдав часть своего фтора, превращается в устойчивое твердое соединение — тетрафторид урана. Гексафторид урана реагирует с водой, образуя агрессивную плавиковую кислоту, не терпит органических соединений и масел. Другие продукты реакций гексафторида урана образуют твердые коррозионные отложения на поверхностях оборудования»* (С.15 [4]). «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 работы с ним необходимо иметь вакуумно-плотную аппаратуру с хорошо обезвоженными поверхностями» (С.40 [4]).

Поездка в Берлин в мае 1945 г.

■ В мае 1945 г. в Берлин была отправлена команда «трофейщиков» под руководством заместителя наркома внутренних дел Авраамий Павлович Завенягина, который был назначен 8 декабря 1944 года (постановление ГКО № 7102 сс/ов о форсировании геологоразведочные работы по урану) ответственным за поиск урана в СССР и на оккупированных территориях. Все ученые временно превратились в советских офицеров, так И.К. Кикоин 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. Кикоин надевал обмундирование полковника. Странно и необычно было видеть его с погонами. "Поеду в Германию", — сказал он... 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 некстати спросил я. Это, по-видимому, разозлило И.В. Курчатова. Он весьма внушительно сказал: "Как это зачем? Ты хочешь работать в оборудованной лаборатории? Так вот, поезжай и добудь все, что тебе нужно"».* За 45 суток пребывания в Германии было сделано многое. Добытое оборудование и материалы, конечно, крайнегодились для создаваемого с нуля Атомного проекта, но наиболее ценным были «добытые» 130 тонн оксида урана. *«Мы решили с Кикоиным, — вспоминал Ю.Б. Харитон, — что надо заняться другим делом... какое-то количество урана немцы захватили в Бельгии и надо поискать, где же этот уран находится. Ну вот мы и начали работать...».* Юлий Борисович Харитон вспоминал: *«Курчатов как-то сказал мне, что найденный в Германии уран примерно на год сократил срок пуска первого промышленного реактора...»*

№	Исполнение пройденных за день частей работы	№
84	Зав. лабор. Электрических Явских Н.К. Ки командировка Д.Л. Симоненко и В.С. Обухова в Москву с Ан наком науч. секрет. фактом с в.р. по в.р. 433. На в.р. командировки Н.К. Кикоина в.р. и.в. Зав. лабораторией возложено на т. Ракитову И.Т. с правом временно выполнять лабораторию Основание: Докладная Зав. лабораторией Н.К. Кикоина Н.К.	V

Приказ N16 от 8 мая 1945 г. пункт 4 за подписью Н.В. Деменева. Отправка И.К. Кикоина, Д.Л. Симоненко и В.С. Обухова в Москву. Как оказалось, командировка была в Германию

В 1945 году научная группа сотрудников И.К. Кикоина была переведена из Свердловска в Москву в Лабораторию №2 (Институт атомной энергии имени И.В. Курчатова).

В 1948 г. Владимир Семенович Обухов (1909-1963) становится начальником сектора пористых перегородок в Лаборатории №2. «Сектором N2 (И.К. Кикоин, В.С. Обухов, В.Х. Волков, К.В. Глинский, В.Н. Тюшевская 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 года. В начале 1946 года был объявлен закрытый конкурс на создание плоских фильтров по техническим условиям, разработанным Сектором N2. Было опробовано параллельно шесть направлений разработок. Наиболее удачным оказался упомянутый выше вариант, разработанный под руководством И.К. Кикоина. Он и был принят для производства на МКТС. Все машины первого диффузионного завода Д-1 были оснащены этими фильтрами. ... Из соображения секретности плоские фильтры назывались «картами» (по размерам они были близки к игровой карте. Характеристики этих фильтров с 1946 года определялись в отделе «Д» (прежнем Секторе N2), в секторе В.С. Обухова».

Каган Ю.М. о создании завода по разделению изотопов урана (Уральский электрохимический комбинат) в г. Верх-Нейвинске (Свердловск-44): «И.К. Кикоин еще в 1945 г. выбрал площадку для строительства диффузионного завода на Урале, в 60 км от Свердловска.» [47].

**ДОКЛАДНАЯ ЗАПИСКА А.П. ЗАВЕНЯГИНА
Л.П. БЕРИЯ О ВЫБОРЕ ПЛОЩАДОК¹
ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ЗАВОДОВ НА ЮЖНОМ УРАЛЕ.**

Секретно
(Особая папка)

Хранить наравне с шифром

И. К. Кикоин являлся одним из создателей комбината, руководил пусконаладочными работами в 1948-1949 годы, а с 1949 года по 1953 год являлся заместителем директора комбината по научной работе. [48]

Председателю Специального комитета при СНК Союза ССР
товарищу Берия Л.П.

Докладываю, что в соответствии с поручением Специального комитета при СНК СССР на Южный Урал был командирован тов. Кикоин, который совместно с начальником Челябметаллургстроя тов. Раппопортом лично проверил площадки для строительства.

Тт. Раппопорт и Кикоин докладывают, что ими выбраны три подходящие площадки с координатами:

1 – широта 55°45', долгота 60°12'.

2 – широта 55°55', долгота 60°23'.

3 – широта 55°43', долгота 60°47'.

Тов. Кикоин выехал в Москву с более подробными материалами, которые будут доложены Специальному комитету.

Завенягин

13 октября 1945 г.

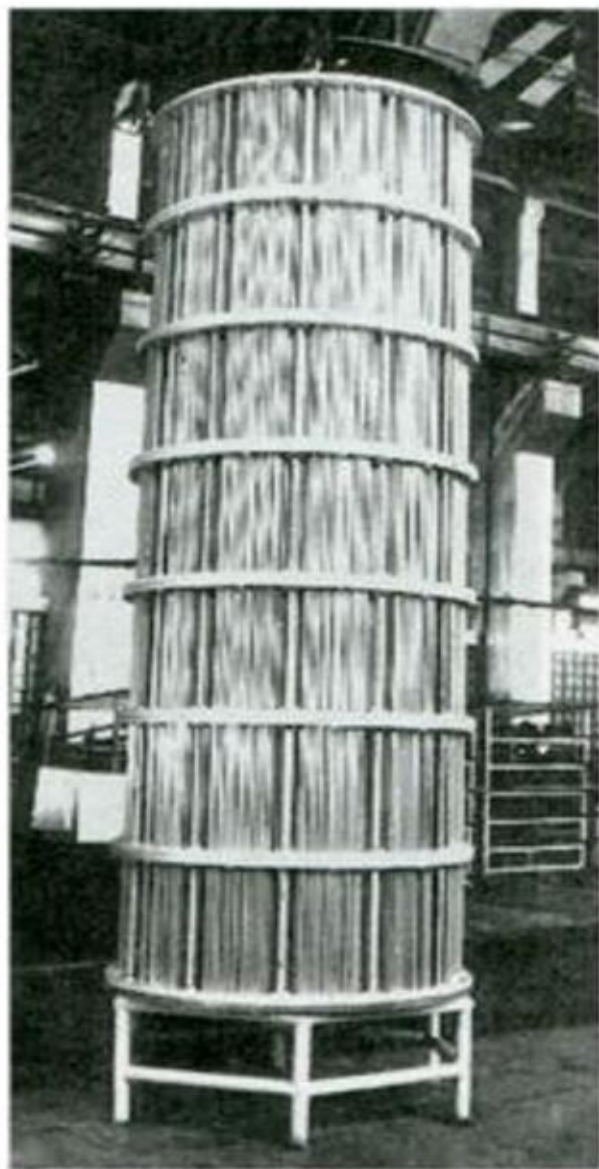


Рис. 7. Сборка трубчатых фильтров разработки УЭХК с площадью рабочей поверхности 400 м²

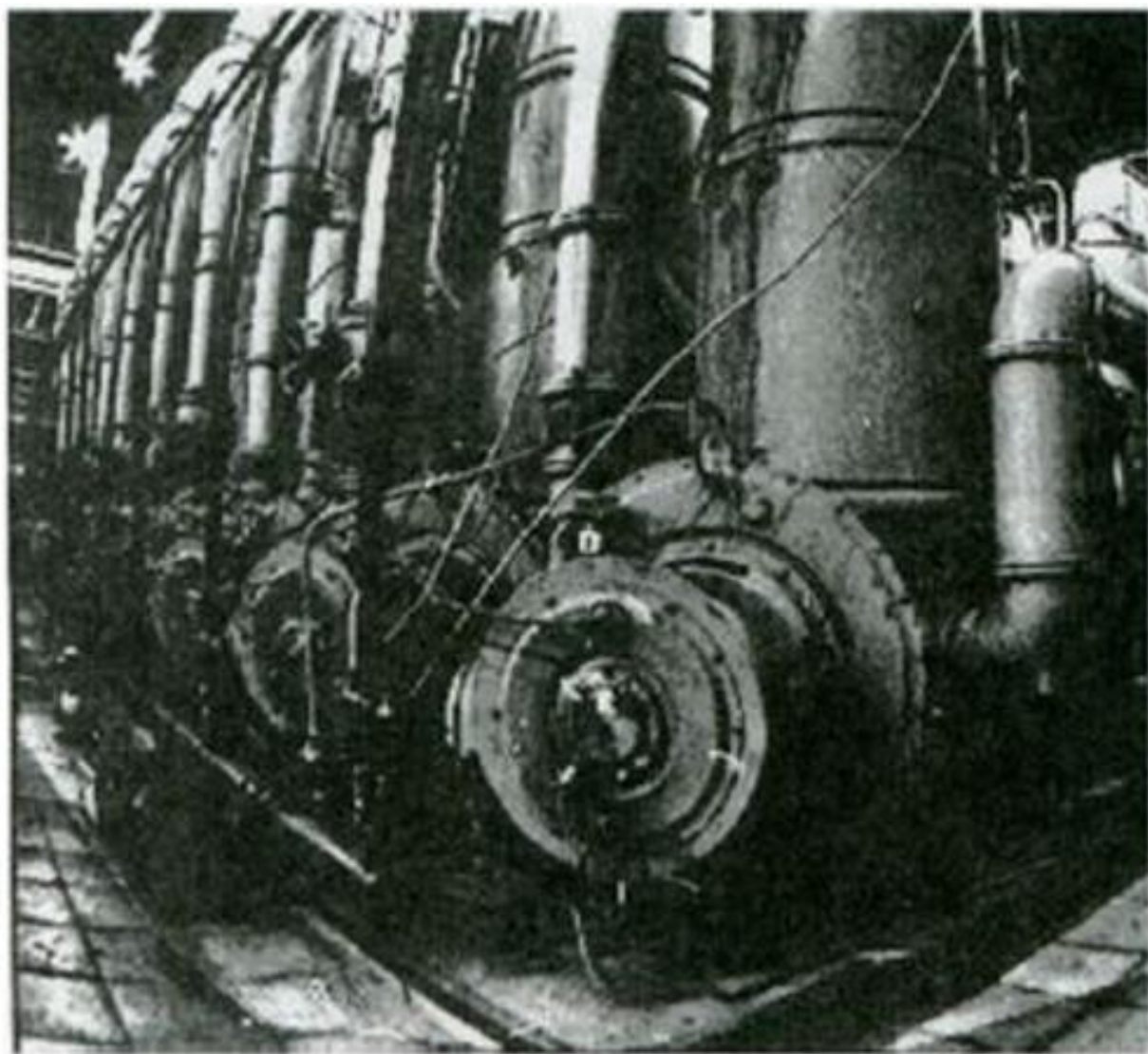


Рис. 6. Промышленный каскад газодиффузионных машин



Рис. 8. Диффузионный каскад Уральского электрохимического комбината

В 1949 г. в Атомный проект в г. Свердловск-44 на Уральский электрохимический комбинат был привлечен 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» (С.103 в [61]).

М.В. 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). Михаил Васильевич Якутович *«руководил работами по созданию нового оборудования для разделительного производства, совершенствованию технологических процессов разделения изотопов диффузионным и газоцентрифужным методами»* (С.103 в [61]).

Сергей Васильевич Карпачев был директором института с 1 июля 1948 по июль 1949 г. и зав. лабораторией электрохимии, (входила в 1936–1939 годах в состав Уральского физико-технического института (ИФМ УрО РАН)). В ноябре 1949 года научный руководитель комбината И. К. Кикоин был назначен начальником ЦЗЛ по совместительству, а его заместителем — С. В. Карпачев (в 1953 - 1956 годах - начальник ЦЗЛ) (С. 237 в [50]).

Вообще какое количество машин входило в каскады первого диффузионного завода и на сколько надежно работали компрессоры? *«Долгое время приходилось круглые сутки заменять остановленные компрессоры новыми или отремонтированными. Только в 1949 году 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 и без компрессоров. Так в 1948 г. *«Завод работал, но проектной продукции не выдавал. Был получен уран обогащением всего лишь 40%. И.В. Курчатov поручил Л.А. Арцимовичу довести этот уран до бомбовой кондиции на экспериментальной электромагнитной установке в Лаборатории № 2. За месяц ее круглосуточной работы из 40%-ного урана было получено 400 г урана, содержащего от 92 до 98% урана-235. К середине 1948 года расчетами 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 высокообогащенного газа и повышенной степенью сжатия газа в компрессоре. *«Для обеспечения проектной производительности и пуска завода было разрешено заменить 896 машин ЛБ-7 на 1696 малых машин ЛБ-6 с пониженными потерями, смонтировать и сдать в эксплуатацию к 15 мая 1949 года».*

■ В 1950 году в ЦЗЛ были образованы 4 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» С. 104 в [61], также были организованы лаборатории, - масс-спектрометрическая и радиоактивных методов. «Общее руководство ими осуществлял руководитель физического сектора П.А. Халилеев» С. 108 в [61].

В ноябре 1949 года «удалось получить первый продукт 75%-ного обогащения при небольшом (далеком от проектного) отборе, этот еще 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 году 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» (С.40-44 [4]). Трудности были преодолены, диффузионный завод запущен.

«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» (С.53 в [4]). **Заслуги разработчиков были оценены. 6 декабря 1951 г. за разработку и промышленное освоение производства урана-235 методом газовой диффузии, группа, возглавляемая И.К. Кикоиным, в которую входили В.С. Обухов, Д.Л. Симоненко, М.В. Якутович, С.В. Карпачёв, И.Н. Поляков, стала лауреатами Сталинской премии первой степени с формулировкой: «ведущим руководителям работ по разделению изотопов урана диффузионным методом» .**

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»

г. Москва, Кремль

6 декабря 1951 г.

Сов. секретно

(Особая папка)

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

13. Представить Кикоина Исаака Кушелевича, члена-корреспондента Академии наук СССР, научного руководителя работ, к присвоению звания Героя Социалистического Труда, премировать его суммой 500 тыс. руб. и автомашиной «ЗИМ».

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

Построить за счет государства и передать в собственность Кикоина И.К., члена-корреспондента Академии наук СССР, дачу с обстановкой.

Установить Кикоину И.К., члену-корреспонденту Академии наук СССР, двойной оклад жалования на все время его работы в области использования атомной энергии.

14. Ведущим руководителям работ по разделению изотопов урана диффузионным методом Соболеву Сергею Львовичу, академику, Якутовичу Михаилу Васильевичу, кандидату физико-математических наук, Карпачеву Сергею Васильевичу, доктору химических наук, Симоненко Данилу Лукичу, кандидату физико-математических наук, Миллионщикову Михаилу Дмитриевичу, доктору технических наук, Смородинскому Якову Абрамовичу, кандидату физико-математических наук, Обухову Владимиру Семеновичу, научному сотруднику, присвоить звание лауреатов Сталинской премии первой степени.

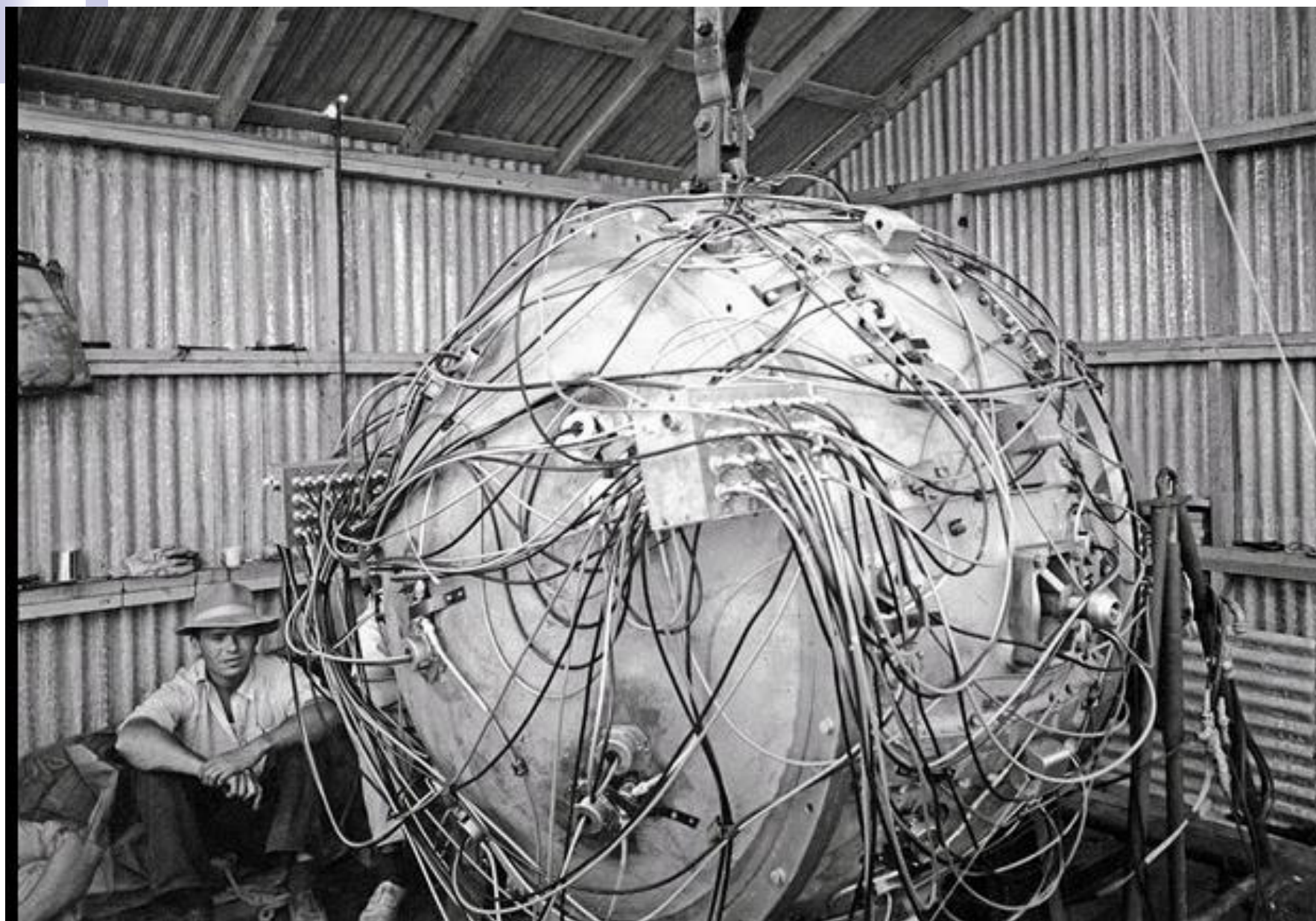


Газодиффузионная технология обогащения урана достигла расцвета, обеспечивая все потребности Советского Союза в уране-235. Но рано или поздно технологии сменяют друг друга, «постепенно на заводах газодиффузионные ступени отключались и демонтировались, а на их место устанавливались каскады газовых центрифуг. **Последний газодиффузионный каскад был остановлен в 1991 году»**

Этап центрифужного разделения изотопов урана начался намного раньше, так завод по центрифужной технологии обогащения был выведен на полную мощность в 1964 г. [53], но этому предшествовало десятилетие напряженной работы по развитию этого метода. Весной 1954 года 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 ученых приняли в решении этой задачи непосредственное участие и были удостоены государственных наград.



Спасибо за внимание!



Открытая проводка ядерного устройства «The Gadget» (неофициальное название проекта «Trinity») – первого испытательного атомного взрыва. Устройство приготовили к взрыву, который произошел 16 июля 1945 года.

Для того, чтоб «снять» электрические показания с этого механического устройства был создан механический аналог магнитосопротивления. К поворотной оси на которой находилась вышеописанная подпружиненная магнитная стрелка прикреплялся диск с закрепленной на его ободке проволокой, с которой и снимались данные по электросопротивлению.

Один измерительный контакт был закреплен к концу этой проволоки, а другой контакт был неподвижен и подпружинено прижимался к проволоке, которая вместе с диском поворачивалась в магнитном поле. В результате поворота диска длина измеряемого куска проволоки изменялась, соответственно изменялось и сопротивление созданного реостата.

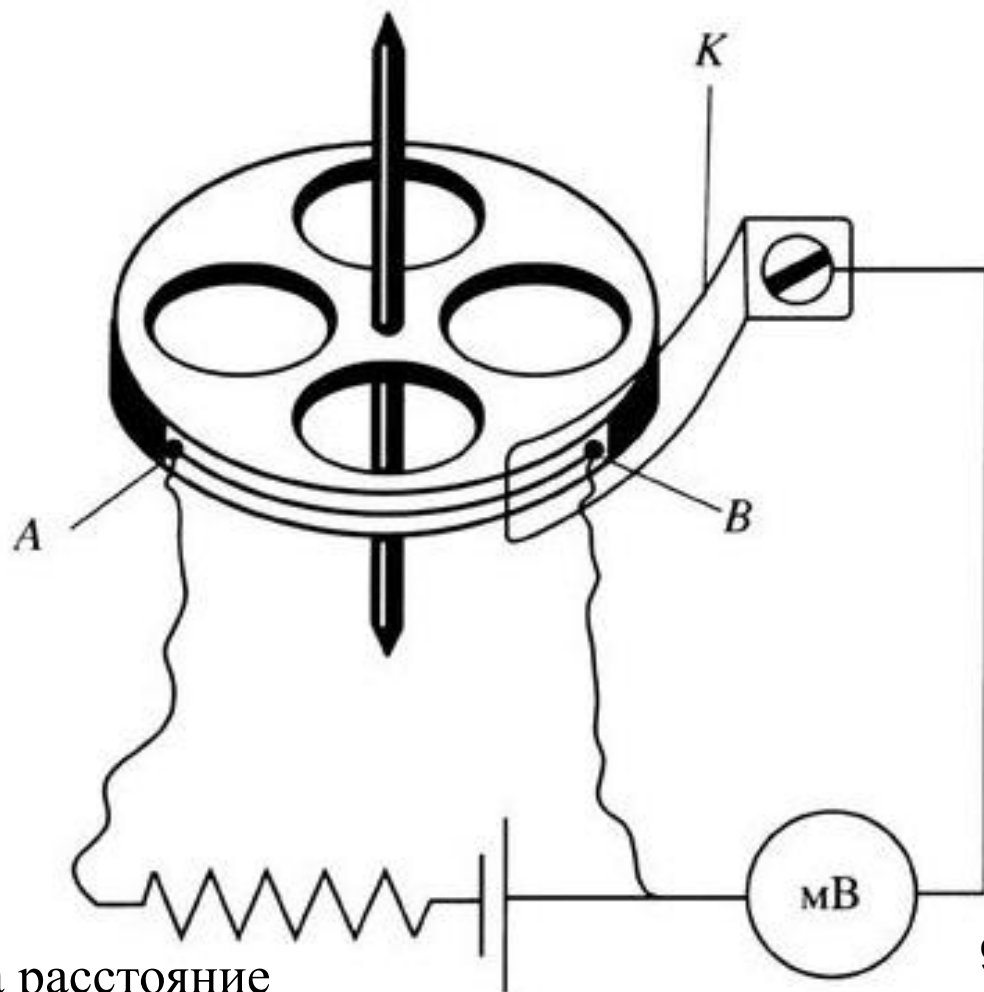


Рис. 2 Схема передачи показаний на расстояние

Первые использования эффекта магнитосопротивления – создание датчиков магнитного поля на основе изменения электросопротивления устройства при внесении его в магнитное поле, но ниша использования этого эффекта была узка, да и датчики появились не сразу. Так еще в 30-40х годах двадцатого века при возникновении крайней необходимости измерить силу магнитного поля использовали механические устройства, измеряющие угол поворота подпружиненной магнитной стрелки.

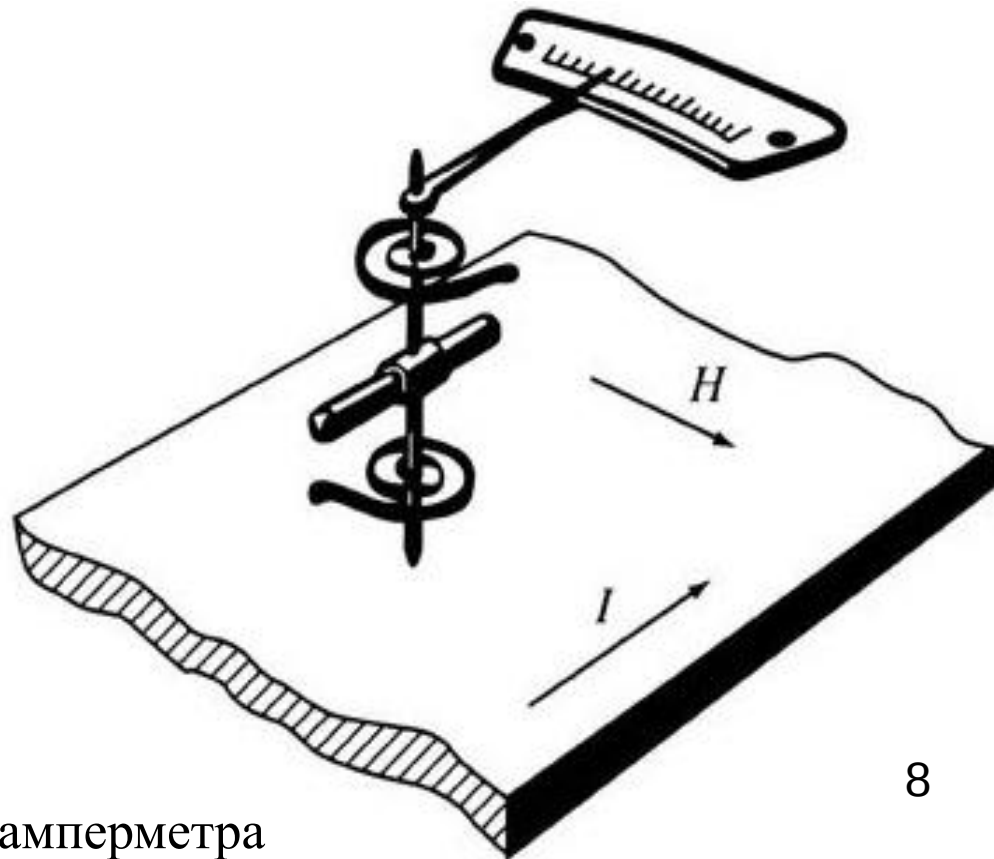


Рис. 1 Принципиальная схема килоамперметра

Павел Акимович Халилеев защитил кандидатскую диссертацию под руководством И.К. Кикоина в 1936 г., с 1937 г. занялся магнитной дефектоскопией, в 1946 г. получил **Сталинскую премию 3 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 переведен 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 году за *«разработку и освоение центрифужного метода разделения изотопов урана»* П.А. Халилеев (совместно с М.Д. Миллионщиковым, В. И. Сергеевым, Х. А. Муринсоном, Е. М. Каменевым, К. В. Глинским, Б. С. Чистовым, М. Л. Райхманом) был отмечен **Ленинской премией**.

■ 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 околonaучные 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 поговаривали 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»* [46].

Важность перехода на новый метод разделения, можно прокомментировать двумя фактами.

1 факт. Всемирная ядерная ассоциация (англ. World Nuclear Association) утверждает, что в разгар холодной войны три газодиффузионных завода США в период наибольшей мощности потребляли 7% электроэнергии, производимой в США [54].

2 факт. Опытный центрифужный завод Уральского электрохимического комбината в 1958-м г. *«вышел на расчетный режим и показал, что при таком методе как минимум в двадцать раз (!) сокращается энергопотребление на единицу разделения»* по сравнению с газодиффузным методом разделения изотопов урана (С.10 [53]).

■ Добавлю справочные сведения о сотрудниках лаборатории фазовых превращений, которую возглавлял с 1933 г. по 1948 г. Комар А.П. *«Уже после войны Н.Н. Буйнов 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 разных руд.»* ([51]).

■ Буйнов Николай Николаевич в 1947 г. возглавил в институте, созданную по инициативе Комара А.П., группу электронной микроскопии (С.335 в [57]) (в 1946 году 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 необходимостью работ по исследованию структуры создаваемых *«фильтров по разделению радиоактивных изотопов»*.

■ Тарасов Диодор Михайлович (Сталинская премия третьей степени (1949) за разработку новых методов сверхскоростной рентгенографии для исследования центральной части заряда атомной бомбы, Сталинская премия второй степени (1953) за разработку кинематики и динамики обжата взрывом применительно к изделиям РДС-6с и РДС-5, орден Трудового Красного Знамени (1962) за испытания самой мощной в мире термоядерной бомбы АН602, два ордена Ленина (1949, 1956) за участие в создании нового типа термоядерного заряда РДС-37)) [58].



■ **Сидоров Сергей Константинович** (Ленинская премия (1960) за участие в работах по коренному совершенствованию производства) [51].

■ **Антон Пантелеймонович Комар** был сотрудником Института физики металлов в Свердловске с 1932 г. и по 1947 г., совершил в 1946 году запуск первого в СССР бетатрона. (Сталинская премия второй степени за участие в разработке проекта, изготовлении оборудования и пуске синхротрона 1951 г. [45]). А.П. Комар - директор Ленинградского физико-технического института (1950—1957) [59].

■ Привлечение к работам в Атомном проекте без перевода с основного места работы и связь с УПИ

Было достаточно много людей, которые привлекались к работам, связанным с атомным проектом, без перевода на предприятия, связанные с атомным проектом. 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 расчетам, связанным с ядерной тематикой** (из сообщения его ученика Е.В. Розенфельда).

В УПИ в сентябре 1949 г. был открыт физико-технический факультет. На который были переведены лучшие студенты, окончившие 4 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 приглашал преподавателей из числа научных сотрудников Института физики металлов... Во втором семестре нас направили на практику в ИФМ УФАИ СССР для монтажа одного из первых на Урале, да и в стране, ускорителя - бетатрона. После окончания года учебы на физтехе, осенью, нас направили на преддипломную практику и дипломирование. Часть группы была откомандирована в УФАИ для окончания монтажа и наладки бетатрона, а В.И. Акимова, С.А. Баженова, Р.Г. Ваганова, Н.А. Плотникова, В.М. Рыжкова, Г.В. Соловьева, П.Е. Суетина - в Институт атомной энергии им. И.В. Курчатова.» «16 мая 1951 года в кабинете у И.К. Кикоина состоялась защита дипломных работ».

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. подводятся некоторые итоги, характеризующие сложность задачи по производству урана-235: *«Получение урана- 235 диффузионным методом явилось одной из наиболее сложных задач. Работа над проблемой получения урана- 235 диффузионным методом была начата с создания в 1946 году машин производительностью 8 граммов в секунду. Ученым, конструкторам и инженерам было необходимо создать несколько типов сложных диффузионных машин, полностью герметизированных и безостановочно работающих при глубоком вакууме. Необходимо было также изыскать для этих машин коррозиестойчивые 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».*

Трехмерные фигуры Лихтенберга внутри прозрачного пластика были впервые созданы физиками Арно Брашем и Фрицем Ланге в конце 1940-х годов.



Историческая справка

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 (УФАН), 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.

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 (возрожден) 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, 1992 г. УПИ переименован в Уральский государственный технический университет (УГТУ-УПИ), 2010 г. создан Уральский федеральный университет (УрФУ), объединивший УГТУ-УПИ и УрГУ.

Физическая справка

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

Уран серебристо-белый металл с плотностью $18,95 \text{ г/см}^3$, температура плавления $1135 \text{ }^\circ\text{C}$. UF_4 – промежуточный продукт при получении металлического урана. UF_6 – единственное соединение урана, которое является газообразным при относительно низкой температуре (температура кипения $56 \text{ }^\circ\text{C}$, применяется при разделении изотопов урана в газодиффузном и центрифужном методах (С.6 в [49]).

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

Урановая бомба Little Boy («Малыш») (заряд урановый, ядерный), 6 августа 1945 г. ее применили по японскому г. Хиросима. Это авиационная бомба с боезарядом на основе 64 кг урана и фактической мощностью 15-18 кт ТНТ, была сконструирована по пушечному типу, который имеет низкий КПД. Поэтому в СССР эту бомбу решили не воспроизводить, сразу создавая атомную бомбу имплозивного типа. (С.5 в [50]).

Список литературы

- [1] Тюшевская В.Н. «Исаак Константинович Кикоин: страницы жизни» М.: ИздАТ, 120 с. 1995 г. http://elib.biblioatom.ru/text/tyushevskaya_kikoin_1995/go,34/
- [2] Распоряжение Государственного Комитета Обороны СССР № ГКО-2352сс от 28 сентября 1942 г. Сов. Секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. Ч. 1. 1998 С.268 Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,268/
- [3] Павел Халилеев «Мои воспоминания» Журнал Урал, N3, 2001 г. <https://magazines.gorky.media/ural/2001/3/moi-vospominaniya.html>
- [4] Воинов Е.М., Плоткина А.Г. «Разработка диффузионного метода разделения изотопов урана. Курчатовский институт.» История атомного проекта. — Вып. 3. — 1995. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/kiae-istoriya-atomnogo-proekta_v3_1995/go,6/
- [5] Киселев Г.В. «Участие Л.Д. Ландау в советском Атомном проекте (в документах)» УФН Т. 178, № 9. — С. 947—990 2008..
- [6] Гончаров Г.А, Рябев 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. 447] (2001)]
- [7] Гончаров Г.А. "Необычайный по красоте физический 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. Рябева "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, Рябев Л.Д. «О замечаниях В.С. Шпинеля к статье "О создании первой отечественной атомной бомбы"» УФН 172 236 (2002) [Goncharov G.A, Ryabev L.D. «About V.S Spinel'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 (5) 171 (1991) [Gurevich I.I, Zel'dovich 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. 40 859 (1997)]
- [17] Адамский В.Б, Смирнов Ю.Н. "Еще раз о создании советской водородной бомбы" УФН 167 899 (1997) [Adamskii V.B, Smirnov Yu.N. "Once again on the creation of the Soviet hydrogen bomb" Phys. Usp. 40 859 (1997)]
- [18] Кикоин И.К., Губарь С.В., Обухов В.С. Вестник электрической промышленности 1942 N 7-8 5 с.
- [19] И.К. Кикоин «Физика и Судьба» Москва: Наука, 2008 г. 933 с. Глава В.Н. Тюшефская «И. К. Кикоин» Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/kikoin-fizika-i-sudba_2008/go,578/
- [20] ЦНБ УрО РАН. Отдел фондов и информационного обслуживания. Ф. 1. Оп. 4. Д. 1479. Личное дело Обухова В.С. Л. 83. Характеристика от 15 ноября 1942 г. Подпись Кикоина.
- [21] ЦНБ УрО РАН. Отдел фондов и информационного обслуживания. Ф. 1. Оп. 4. Д. 1479. Личное дело Обухова В.С. Л. 90. Распоряжения заседания Президиума РАН СССР от 2 сентября 1943 г., пункт 26. (Заверенная копия).

- [22] ЦНБ УрО РАН. Отдел фондов и информационного обслуживания. Ф. 1. Оп. 4. Д. 1479. Личное дело Обухова В.С. Л. 88. Письмо от 16 сентября 1943 г. в ВАК ВКВШ при СНК СССР от директора Института МММ (теперь - ИФМ) Деменёва о разрешении допустить Обухова «...до защиты кандидатской диссертации без кандидатских экзаменов».
- [23] Физика металлов на Урале. Институт физики металлов в годы Великой отечественной войны. Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2020 г. 592 с. С.250.
- [24] Я.Г. Дорфман, И.К. Кикоин Физика металлов Ленинград, Москва: Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933 г. 551 с.
- [25] А.К. Кикоин «Брат, учитель, друг» С.17 в книге «Исаак Константинович воспоминания современников» 2-е издание, переработанное и дополненное, Москва «Наука» 1998 г.
- [26] Д.Л. Симоненко Краткое описание первых экспериментальных работ по разделению изотопов урана в СССР (1942-1948 гг.) С.146, История советского атомного проекта. Вып. 1. 1998. Электронная библиотека «История Росатома» Из истории разделения изотопов Урана. http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-sovetskogo-atomnogo-proekta_v1_1998/go,146/
- [27] Теория разделения изотопов в каскадах Г.А. Сулаберидзе, В.А. Палкин, В.Д. Борисевич, В.Д. Борман, А.В. Тихомиров М.: МИФИ, 2007. — 395 с. http://elib.biblioatom.ru/text/teoriya-razdeleniya-izotopov-v-kaskadah_2007/go,11
- [28] Бабаев Н.С. Пятьдесят лет под грифом “Совершенно секретно”. — ООО «Информ-Знание», 2008. — 188 с. http://elib.biblioatom.ru/text/babaev_50-let-sovershenno-sekretno_2008/go,40
- [29] Смит Г.Д. Атомная энергия для военных целей М.: ИздАТ 2009 г. 287 с. В Главе XI. Электромагнитное разделение изотопов урана с.223 http://elib.biblioatom.ru/text/smit_atomnaya-energiya_2007/go,222
- [30] Атомная энергия Том 86, вып. 6. — 1999. — С. 434 Создание и развитие ядерно-оружейного комплекса Аврорин Е.Н., Литвинов Б.В., Илькаев Р.И., Михайлов В.Н. http://elib.biblioatom.ru/text/atomnaya-energiya_t86-6_1999/go,26/
- [31] Заявка на изобретение «Об использовании урана в качестве взрывчатого и отравляющего вещества». 17 октября 1940 г. В. А. Маслов и В. С. Шпинель. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. 1938—1945. Часть 1, М-во Рос. Федерации по атом. энергии; Рос. акад. наук; — М.: Наука. Физматлит, 1998. — 432 с. С.193. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,193/

- [32] Заявка на изобретение Ф. Ланге, В.А. Маслов, В.С. Шпинель «Способ приготовления урановой смеси, обогащенной ураном с массовым числом 235. Многокамерная центрифуга». Не ранее 17 октября — не позднее 31 декабря 1940 г. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. 1938—1945. Часть 1, М-во Рос. Федерации по атом. энергии; Рос. акад. наук — М.: Наука. Физматлит, 1998. — 432 с. С.196. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,196/
- [33] Заявка на изобретение Ф. Ланге, В.А. Маслов «Термоциркуляционная центрифуга» Не ранее 1 января — не позднее 3 февраля 1941 г. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. 1938—1945. Часть 1, М-во Рос. Федерации по атом. энергии; Рос. акад. наук — М.: Наука. Физматлит, 1998. — 432 с. С.213. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,213/
- [34] Записка И.В Курчатова Первухину М.Г об испытаниях центрифуги 29 апреля 1943 г. Сов. Секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. кн. 1. — 1998 С.344— Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,344
- [35] Записка И.В Курчатова Первухину М.Г. О необходимости демобилизации В.М. Кельмана 1 апреля 1943 г. Сов. Секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. кн. 1. — 1998 С.328— Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,328
- [36] Отчет И.К. Кикоина И.В. Курчатову о результатах командировки в Свердловск и состоянии работ по центрифуге и диффузионной установке. 21 сентября 1943 г. Сов. Секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. Ч. 1. — 1998 С.392— Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,392
- [37] Чиков В. «Русские нелегалы в США» Эксмо, 2003 г. 448 с. <https://www.livelib.ru/book/1000024627-russkie-nelegaly-v-ssha-vladimir-chikov>
- [38] Человек столетия: Юлий Борисович Харитон. Под редакцией В.Н. Михайлова М.: ИздАТ, 1999 г. С.135. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/hariton-chelovek-stoletiya_1999/go,135/
- [39] Записка заведующего Лабораторией № 2 И.В. Курчатова заместителю председателя СНК СССР М.Г. Первухину с анализом содержания разведматериалов и предложениями к программе работ 7 марта 1943 г. Совершенно секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. 1938—1945. Часть 1, М-во Рос. Федерации по атом. энергии; Рос. акад. наук — М.: Наука. Физматлит, 1998. — 432 с. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,314/

- [40] Скорынин Г.М. «Газовые центрифуги для разделения изотопов. Часть 4 Создание в СССР промышленной технологии обогащения урана центрифужным методом»
<http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=8577>
- [41] Объяснительная записка к плану работ Лаборатории N2 на второе полугодие 1943 г. И.В. Курчатова 18 августа 1943 г. Сов. Секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. Ч. 1. — 1998 С.386, Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. Ч. 1. 1998 Электронная библиотека «История Росатома»
http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,386
- [42] Халилеев П.А. «Я агент НКВД» Вестник Уральского отделения РАН N1 (3) 2003 г. С.19.
- [43] Кикоин И.К. Доклад «О разделении изотопов урана» на заседании Технического совета Специального комитета при ГКО. Не позднее 10 сентября 1945 г. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. 1938—1945. Часть 2 / М-во Рос. Федерации по атом. энергии; Рос. акад. наук; Гос. науч. центр Рос. Федерации — Физ.-энергет. ин-т им. акад. А.И. Лейпунского — М.: Изд-во МФТИ, 2002. — 800 с. С.370.
http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn2_2002/go,370/
- [44] Насонов В.П. «БЛАГОРОДНОЕ ИСКУССТВО — ПОРТИТЬ ОТНОШЕНИЯ С НАЧАЛЬСТВОМ. К столетию со дня рождения Фрица Ланге — немецкого ученого, работавшего над созданием советской атомной бомбы». «Независимая Газета» 06 (42) 20 июня 2001 г. http://science.ng.ru/safe/2000-01-19/7_art.html
- [45] Доклад ПГУ И.В. Сталину «О состоянии работ по получению и использованию атомной энергии» 17.01.1946. Сов. Секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. Ч. 2. — 2002 С.415 Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn2_2002/go,415/
- [46] Записка И.К. Кикоина и А.И. Алиханова М.Г. Первухину: «Состояние проблемы разделения изотопов Урана» 4.01.1944 г. Сов. Секретно. В книге Кикоин И.К. «Физика и Судьба» Москва: Наука, 2008 г. 933 с. С.39 Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/kikoin-fizika-i-sudba_2008/go,339
- [47] Справка И.В. Курчатова представленная М.Г. Первухину «О состоянии работ по проблеме на 27 ноября» 1943 г. Сов. Секретно. Атомный проект СССР: документы и материалы. Т. 1. Ч. 1. — 1998 г. С.405 Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t1_kn1_1998/go,405
- [48] Большая российская энциклопедия <https://bigenc.ru/c/uran-khimicheskii-element-ac6ea2?ysclid=lp5n5k7lap848709125>

- [49] Андреева О.С., Бадьин В.И., Корнилов А.Н. Природный и обогащенный уран: Радиационно-гигиенические аспекты. — М.: Атомиздат, 1979. 216 с. http://elib.biblioatom.ru/text/andreeva_prirodnyy-i-obogaschenny-uran_1979/go,6/
- [50] Баранов М.И. Научное открытие метода взрывной имплозии для получения сверхкритической массы ядерного заряда и украинский «след» в американском атомном проекте «Манхэттен». — Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 40 // Электротехника и электромеханика. — 2017. — № 5. — С. 3—13. http://elib.biblioatom.ru/text/drovenikov_uran-45_2004/go,4/
- [51] Постановление СМ СССР № 1127- 402сс/ оп «О плане специальных научно- исследовательских работ на 1948 год». Атомный проект СССР: документы и материалы. Сов. Секретно. Т. 2. Кн. 3. — 2002 С.415 Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t2_kn3_2002/go,430/
- [52] Суетин П.Е. «У истоков атомной проблемы» Известия УрГУ, N12 — 1999 — С.86. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/suetin_u-istokov-atomnoy-problemy_1999/go,86
- [53] Гончаров В.В. «Первый период развития атомной энергетики в СССР» в История атомной энергетики Советского Союза и России : [сборник статей] / Рос. науч. центр «Курчат. ин-т»; [под ред. Сидоренко В. А.]. — М.: ИздАТ. —Вып. 1. — 2001. — 254 с. http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-atomnoy-energetiki_v1_2001/go,24/?bookhl=-+235
- [54] Доклад от 16 ноября 1951 г. И. В. Сталину «О ходе выполнения заданий на 1951 год и о программе работ по развитию атомной промышленности в 1951— 1955 гг.» Л.П. Берия, Б.Л. Ванников, А.П. Завенягин, И.В. Курчатова, Ю.Б. Харитон и К.И. Щелкин С.342 в АТОМНЫЙ ПРОЕКТ СССР: Документы и материалы: В 3 т. / Под общ. ред. Л.Д. Рябева. Т. II. Атомная бомба. 1945- 1954. Книга 7 / Федеральное агентство РФ по атом, энергии; Отв. сост. Г. А. Гончаров. - Саров: РФЯЦ- ВНИИЭФ; М: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 696 с. ISBN 978- 5- 9221- 0855- 3 (Т. II; Кн. 7 https://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t2_kn7_2007/p342/
- [55] И.К. Кикоин «Физика и Судьба» Москва: Наука, 2008 г. 933 с. Глава Каган Ю.М. Академик И.К. Кикоин. 100 лет со дня рождения. С.13 Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/kikoin-fizika-i-sudba_2008/go,14/.

- [56] № 266 Из постановления 22 мая 1948 г. СМ СССР № 1679- 658сс/ оп « О мерах по подготовке к пуску и эксплуатации Государственного машиностроительного завода Первого главного управления при Совете Министров СССР» Атомный проект СССР: документы и материалы : [в 3 т.] / Под общ. ред. Л.Д. Рябева. — 1998—2010. Т. 2. Атомная бомба. 1945—1954. Кн. 3 / М-во Рос. Федерации по атом. энергии — 2002. — 893. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t2_kn3_2002/go,472
- [57] Разработка и создание газосцентрифужного метода разделения изотопов в СССР (России). — С.-Петербург, ЛНПП «Облик», 2002. — 496 с. Электронная библиотека «История Росатома» https://elib.biblioatom.ru/text/razrabotka-gazotsentrifuzhnogo-razdeleniya-izotopov_2002/p143
- [58] Д.Л. Симоненко «О некоторых эпизодах совместной работы с И.К. Кикоиным» И. К. Кикоин — Физика и Судьба / [отв. ред. С. С. Якимов]. — М.: Наука, 2008. — 933 с.
- [59] Цукерман В. А., Азарх З. М. Люди и взрывы. — Арзамас-16: [РФЯЦ-ВНИИЭФ], 1994. — 159 с. http://elib.biblioatom.ru/text/tsukerman-azarh_lyudi-i-vzryvy_1994/go,120
- [60] Дровеников И.С., Романов С.В. Уран-45 Природа. 2004. № 6. С. 74—80.
- [61] Артемов Е.Т., Бедель А.Э. Укрощение урана: Страницы истории Уральского электрохимического комбината / Урал. электрохим. комбинат. — Новоуральск: СВ-96, 1999. — 351 с. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/artemov_ukroschenie-urana_1999/go,102
- [62] Мазур В.А. «Папа Карло» К столетию со дня рождения чл.-корр. АН СССР Сергея Васильевича Карпачёва, ректора Уральского университета в 1956-1963 гг» // Известия УрГУ. № 40. — 2006. — С. 234—247.
- [63] История Росатома. Персоналии: Карпачёв С.В. http://www.biblioatom.ru/founders/karpachev_sergey_vasilevich/
- [64] Постановление СМ СССР N4964-2148сс/оп 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. Сов. Секретно. Т. 2. Кн. 7. — 2007 С.353. Под общ. ред. Л.Д. Рябева. — 1998—2010. http://elib.biblioatom.ru/text/atomny-proekt-sssr_t2_kn7_2007/go,353
- [65] Емельяненко А.Ф «Соло на центрифуге» Издательство: АНО «Информационный центр атомной отрасли» 2013 г. 28 с. http://elib.biblioatom.ru/text/emelyanenko_solo-na-tsentrifuge_2013/go,10
- [66] Сайт Всемирной ядерной ассоциации <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment.aspx>

■ [67] «Экспериментальные исследования для создания промышленных методов разделения изотопов урана в СССР в 1943- 1950 гг.» О.Д. Симоненко Наука и общество : история советского атомного проекта (40-е — 50-е годы) = Science and society: history of the Soviet atomic project (40's — 50's) : Междунар. симпоз. ИСАП-96, Дубна, 14—18 мая 1996: Труды. — М.: ИздАТ, 1999—2003. — Загл. обл.: История советского атомного проекта. Т. 2. — 1999. — 527 с.

■ [68] Горелик Г.Е. «Виталий Гинзбург: наука и нрав нобелевского лауреата. По страницам Литгазеты», послесловие к книге Виталий Гинзбург. Письма к любимой - Москва : Время, 2016. - 383 с. <https://ggorelik.wordpress.com/список-публикаций/виталий-гинзбург-письма-к-любимой-м/>

■ [69] Васильев А.П. «Система дальнего обнаружения ядерных взрывов и советский атомный проект». С.247. История советского атомного проекта Вып. 2, СПб.: РХГИ, 2002 г. 655 с. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/istoriya-sovetskogo-atomnogo-proekta_v2_2002/go,247/

■ [70] Прекул Т.С. «Штрихи к портрету Сергея Константиновича СИДОРОВА» в книге «Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах». Екатеринбург. РИО УрО РАН, 2012 г., 496 с., С.263. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/fizika-metallov-na-urale_2012/go,262/

■ [71] Пушин В.Г., Буйнова Л.Н. «Вехи пути: биография Николая Николаевича БУЙНОВА» в книге «Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах». Екатеринбург. РИО УрО РАН, 2012 г., 496 с., С.335. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/fizika-metallov-na-urale_2012/go,335/

■ [72] История Росатома. Персоналии: Тарасов Д.М. Электронная библиотека «История Росатома» http://wwwmr.biblioatom.ru/founders/tarasov_diodor_mikhailovich/

■ [73] Тарасов М.Д. «История семьи из закрытого города» г.Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ 2020 г. 163 с. http://elib.biblioatom.ru/text/tarasov_istoriya-semyi_2020/go,74/

■ [74] Б.В. Литвинов. ГРАНИ ПРОШЕДШЕГО (ТРИПТИХ) . — М.: ИздАТ, 2006. — 696 с. http://elib.biblioatom.ru/text/litvinov_grani-proshedshego_2006/go,480/

■ [75] Стенд «Антон Пантелеймонович Комар» Отделения Физики Высоких Энергий НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ в разделе Стенды Персоналий Института на сайте https://hepd.pnpi.spb.ru/hepd/Muzej_PNPI/stendy_personalij_instituta/stend_komar.pdf.

- 
- [76] КОМАР Антон Пантелеймонович. Уральский государственный университет в биографиях. / сост. В. А. Мазур – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2010, 616 с. https://biography.ideafix.co/index55e9.html?base=mag&id=a_0130
 - [77] Пушин В.Г. «Становление и развитие исследований структурных и фазовых превращений в Институте» в книге «Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах». Екатеринбург. РИО УрО РАН, 2012 г., 496 с., С.335. Электронная библиотека «История Росатома» http://elib.biblioatom.ru/text/fizika-metallor-naurale_2012/go,394/
 - [78] М.М. Насрыева «Фриц Фрицевич Ланге» в книге «Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах 2.0». Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2023 –440 с.
 - [79] С.В. Гудина «Данил Лукич Симоненко» в книге «Физика металлов на Урале. История Института физики металлов в лицах 2.0». Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2023 –440 с.
 - [80] ЦНБ УрО РАН. Отдел фондов и информационного обслуживания. Ф. 1. Оп. 4. Д. 1479. Личное дело Обухова В.С. Л. 88. Письмо (ходотайство) от 16 сентября 1943 г. в комитет по делам Высшей школы СНК СССР от директора Института металлофизики и металлургии (еще одно бывшее наименование ИФМ УрО РАН) Н.В. Деменёва о разрешении допустить Обухова «...до защиты кандидатской диссертации без кандидатских экзаменов».
 - [81] Воспоминания Выпускника ФизТеха УПИ Волкова Владимира Владимировича выложены на сайте https://new.fizikotekhnik.ru/FizikoTekhnik_Narod/FizikoTekhnik_MemVvv.htm
 - [82] Лундин А.Б. “Я всю жизнь занимался тем, что меня интересовало” (о Борисе Николаевиче Лундине) / в // Актуальные проблемы химии и технологии органических веществ. История, проблемы органического синтеза, перспективы, Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 528 С.