

УДК 53(092)

БОЛЬШАЯ ЖИЗНЬ И БОЛЬШИЕ ДЕЛА АКАДЕМИКА АЛЕКСАНДРОВА

В. И. Кузнецов, А. Н. Сисакян

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

Представлены главные этапы деятельности академика А. П. Александрова. В большую науку Анатолий Петрович пришел после работ по изучению свойств диэлектриков в Ленинградском физико-техническом институте (ЛФТИ), которые возглавлял А. Ф. Иоффе. К началу войны под руководством А. П. Александрова была разработана система противоминной защиты «ЛФТИ» и оборудованы ею корабли Военно-морского флота СССР. Система «ЛФТИ» внесла существенный вклад в ход войны на море. Анатолию Петровичу было поручено научное руководство строительством и эксплуатацией ядерных реакторов — производителей плутония, а также реакторов атомных электростанций. Благодаря его трудам в предельно короткий срок удалось установить паритет с США в оснащении вооруженных сил ядерными боеголовками. А. П. Александров принял на себя научное руководство созданием первой советской атомной подводной лодки, а затем и всего атомного подводного флота, а также атомного ледокольного флота. А. П. Александров уделял внимание фундаментальным и прикладным исследованиям международного научного центра — Объединенного института ядерных исследований.

Main fields of activities of Academician A. P. Aleksandrov are depicted. Anatoli Petrovich began his scientific career with studying the properties of dielectrics under the direction of A. F. Ioffe in the Leningrad Physical Technical Institute (LPTI). In the prewar years he headed the works on the antimine protection system «LPTI» and its implementation in the USSR Navy ships. This system ensured successful operations of the Navy during World War II. Anatoli Petrovich was a research supervisor of most important programs on construction and service of nuclear reactors producing plutonium, and reactors for nuclear power stations. His research in this direction became one of the most important constituents of the strategic parity of nuclear-rocket armament with the USA. A. P. Aleksandrov supervised the creation of the first Soviet nuclear submarine and then of the whole nuclear submarine fleet. The Soviet nuclear ice-breaking fleet was constructed under his direction. A. P. Aleksandrov paid special attention to the fundamental and applied studies of the International research center — the Joint Institute for Nuclear Research.

Александров Анатолий Петрович (1903–1994). Доктор физико-математических наук (1941), член-корреспондент Академии наук СССР (1943), академик (1953), президент Академии наук (1975–1986). Трижды Герой Социалистического Труда (1954, 1960, 1973). Директор Института атомной энергии им. И. В. Курчатова (1960–1988). Награжден девятью орденами Ленина, золотой медалью им. М. В. Ломоносова АН СССР (1978).

Эффект Александрова. Апрель 1951 г. Промышленная реакторная зона на территории комбината № 817 (ныне «Маяк»), пуск второго сверхмощного

уран-графитового реактора АВ-2 из серии АВ, включавшей три однотипных промышленных реактора, производивших оружейный плутоний.

В 15-й комнате — так называли зал, в котором располагались органы управления гигантского ядерного котла, — за пультом приготовились к работе старший инженер-оператор и двое его помощников. Два ряда стульев за их спинами занимают члены комиссии. Во главе комиссии научный руководитель строительства и эксплуатации промышленных ядерных реакторов член-корреспондент АН СССР А. П. Александров. Первое главное управление (ПГУ)* представляет его начальник генерал-полковник Борис Львович Ванников.

Как и при пуске первого промышленного реактора А, «Аннушки», настал момент определения критической массы без воды в технологических каналах. Дежурный научный руководитель опрометчиво дает команду быстро отключить подачу воды в нескольких коллекторах — водоводах, питающих каналы. Значительная часть активной зоны** обезводилась, а значит, в ней не стало сильного поглотителя нейтронов — воды, и потому пошла самоподдерживающаяся цепная ядерная реакция (СЦЯР).

Операторы прикинули к шкале гальванометра, соединенного со счетчиками-регистраторами нейтронов. Световые зайчики слишком быстро пробегали шкалу до упора и продолжали свой бег после переключения на следующие, более грубые диапазоны. Сбросили аварийную защиту — в активную зону полетели стержни из бористой стали. Не помогло. Нейтронный поток нарастал. Загудели зуммеры. Уже «щелкуны» — динамики, подключенные к регистрирующим ионизационным камерам, — начали отбивать с нарастающей частотой барабанную дробь. Народ ринулся к выходу. Только А. П. Александров, Б. Л. Ванников и инженеры-операторы оставались на своих местах.

«Спокойно», — громким голосом неспешно, по-особенному расставляя акценты, произнес Анатолий Петрович. И всего одно слово произвело гипнотическое действие, остановило начавшуюся было панику, появилась уверенность и четкость в действиях операторов. В активную зону пошли твердые поглотители.

Анатолий Петрович через лабиринт, защищающий 15-ю комнату от γ -излучения, вышел на балкон центрального зала. «Открывай воду. Во все коллекторы. Немедленно, быстро», — скомандовал начальнику смены. СЦЯР заглохла. Все встало на свои места.

* ПГУ образовано 30 августа 1945 г. для повседневного руководства организацией атомной промышленности, координации всех ведущихся в стране научно-технических работ и инженерных разработок.

** Активная зона уран-графитового реактора — графитовая кладка, пронизанная алюминиевыми трубами, заполненными небольшими цилиндрическими урановыми блоками (твэлами), область, где протекает самоподдерживающаяся цепная реакция деления ядер урана-235.

«А что, лошадка могла убежать?» — спросил Ванников. «Да», — ответил Анатолий Петрович [1].

Пуск реактора продолжили на следующий день. Слово, остановившее суету, запомнилось всем. Какое-то время происшествие при пуске АВ-2 называли «эффект Александра»*.

Мы упомянули этот эпизод, чтобы показать смелость, решительность, влияние замечательного человека. Эти качества, и не только они, открыли ему дорогу к свершению грандиозных проектов, великих дел.

Учитель физики и исследователь диэлектриков. Первые шаги в науке [1, 2]. Центром научных исследований по физике диэлектриков в те годы был Ленинградский физико-технический институт (ЛФТИ). Работы по диэлектрикам возглавлял академик Абрам Федорович Иоффе. Среди прочих над диэлектрическими проблемами трудились не обделенные талантами И. В. Курчатов, П. П. Кобеко, К. Д. Синельников, А. К. Вальтер.

На грани 1920–1930-х гг. физика диэлектриков занимала передовые рубежи науки. Учитель 79-й киевской школы А. П. Александров одновременно с преподавательской деятельностью систематически занимался изучением свойств диэлектриков в Киевском рентгенологическом институте (КРИ), где сформировалась сильная группа молодых ученых. В нее входили не достигшие еще тридцатилетнего возраста А. П. Александров, В. Н. Тучкевич, будущий академик, Д. Н. Наследов, ставший впоследствии профессором, и П. В. Шаравский.

Абрам Федорович умел подбирать научные кадры. Работы молодых ученых КРИ его заинтересовали, и он направил в Киев на разведку своего ближайшего сотрудника Николая Николаевича Семенова**. Николай Николаевич познакомился с киевлянами. Молодые люди произвели на него благоприятное впечатление. Следующим проверяющим стал блестящий теоретик Яков Ильич Френкель***. Он познакомился с работами КРИ, побывал на семинаре. Наконец, спустя некоторое время от Иоффе появился еще один посланец — молодой физик-экспериментатор Игорь Васильевич Курчатов.

Анатолию Петровичу Курчатов понравился, и понравился очень. О многом переговорили, спорили о науке, ее целях, проблемах. И эта первая встреча в начале 1930 г. во многом определила жизненный путь Анатолия Петровича. Он и Курчатов стали друзьями на всю оставшуюся жизнь.

*Оптикам-спектроскопистам известно — существует спектральный эффект Александра, но он принадлежит Борису Александрову, старшему брату Анатолия Петровича.

**Академик АН СССР (1932), лауреат Нобелевской премии (1956), основоположник химической физики.

***Член-корреспондент АН СССР (1929). Не избирался в академики — однажды на праздновании его дня рождения присутствовал Н. И. Бухарин.

В Ленинград к Иоффе. Курчатов понял: многие методические подходы у киевлян более строгие, чем в Ленинграде, и сообщил им, что осенью в Одессе состоится Всесоюзный съезд физиков и Иоффе хочет там послушать доклады сотрудников КРИ и намерен пригласить молодых ученых на работу в ЛФТИ.

Доклады Александрова и его коллег Наследова, Тучкевича, Шаравского произвели должное впечатление. В августе следующего года Александров и Наследов уже работали в ЛФТИ. Их поселили в Ленинградском доме ученых, бывшем дворце Великого князя Владимира Александровича. В комнате стояло восемь коек. Топили плохо. Неважно было с питанием. Не радовала темная холодная питерская зима. Но трудности молодых людей не смущали. Увлекательная работа в ЛФТИ поддерживала бодрость духа.

Одним из важнейших направлений А. Ф. Иоффе считал исследование так называемой тонкослойной изоляции. Бытовала теория пробоя диэлектрика путем лавинного процесса ударной ионизации. Если диэлектрик — тонкая пленка, то нет пространства для распространения лавины и, следовательно, электрическая прочность тонких пленок должна быть сверхвысокой. Казалось, открывались широкие перспективы внедрения такой изоляции в народное хозяйство. Ведь тонкослойная изоляция не только надежно защитит от пробоев — на нее потребуется значительно меньшее количество материалов, чем на обычную.

В отдел тонкослойной изоляции и был направлен Анатолий Петрович. Иоффе знал, что Александров неплохо разбирается в органической химии, и поручил молодому сотруднику измерять упрочнение изоляционных характеристик в тонких полимерных пленках.

«Упрочнение» уже наблюдали Иоффе и его сотрудники Курчатов, Синельников и Гохберг на тонких стеклянных и слюдяных пластинках.

Анатолий Петрович разработал оригинальную и надежную измерительную аппаратуру электрической прочности полимерных пленок. Но эффект тонкослойности никак, несмотря на все его усилия, не проявлялся, даже когда в его работу включились Курчатов и сам Иоффе. В итоге пришли к заключению — результаты Анатолия Петровича безупречны, а у полимерных пленок, вероятнее всего, иной, не лавинный механизм пробоя. Однако новичок не успокоился и решил с помощью своей методики измерить электрическую прочность стеклянной и слюдяной тонкослойной изоляции. Уже «выдержавшие» испытание на прочность образцы стекол ему передал Курчатов. И опять никакого эффекта. Пришлось воспроизвести «старую» методику, которую использовали Иоффе, Курчатов, Синельников и др. Эффект появился, но Анатолий Петрович понял: это артефакт, результат несовершенства методики Иоффе. Тогда в его работу включился, оставив остальные дела, А. Ф. Иоффе. Иногда экспериментировали до глубокой ночи. В результате появилась совместная статья Иоффе и Александрова, в которой были вскрыты ошибки измерений в предыдущих работах.

Никакого конфликта между Александровым и Иоффе не произошло. Здесь не последнюю роль сыграли открытость, тактичность и обаятельность молодого сотрудника, да и характер академика.

Другой наш замечательный ученый Л. Д. Ландау опроверг теорию лавинного пробоя, но не смог избежать резкой полемики с директором, и ему пришлось уйти из Физтеха в Институт физических проблем к П. Л. Капице.

После открытия нейтрона в 1932 г. начала бурно развиваться ядерная физика. Иоффе и Курчатов обладали обостренным чувством нового, академик поддержал Курчатова, когда тот решил сосредоточить свои усилия на новом ядерном направлении. Анатолий Петрович полностью был в курсе работ своего друга, и это сослужило ему в будущем хорошую службу.

Противоминная защита. Размагничивание кораблей [3]. В 1933 г. в Германии к власти пришел Гитлер. Запахло войной. Поэтому, наряду с исследованиями полимеров и другими темами, Александров считал необходимым вести несколько тем в интересах Военно-морского флота.

Главной военной специальностью лаборатории стала противоминная защита кораблей и судов. Работа была начата в 1936 г. В этом году военморы Балтийского флота во главе с адмиралом Иваном Степановичем Исаковым* побывали в ЛФТИ. В беседах с ними выяснилось: англичане во время гражданской войны устанавливали на Северной Двине мины с магнитными взрывателями. Беломорская флотилия понесла большие потери. Магнитные мины оказались серьезным оружием.

Флот необходимо было защитить от мин с магнитным взрывателем, особенно опасным тем, что подрыв судна происходит неконтактным способом. Стальной корпус судна изменяет силу магнитного поля Земли, даже если мина установлена на сравнительно большой глубине. Когда судно проходит над миной, то это изменение приводит в действие магнитный взрыватель и мина срабатывает под корпусом — гидравлический удар ломает его. Выход один — создать на судне магнитное поле, компенсирующее его собственное, иными словами, размагнитить судно. Такое дело требовало ясного понимания физических принципов взаимодействия магнитного поля Земли со столь замысловатым куском ферромагнетика, как стальное плавсредство, изобретательности, новой измерительной аппаратуры, вариантов систем размагничивания, длительных, многообразных и непростых морских испытаний.

Умение ставить качественные физические эксперименты помогло Анатолию Петровичу и его сотрудникам за короткое время понять суть дела. На простенькой стальной модели «корабля» [1] убедились: у модели три составляющие магнитного поля — продольная, поперечная и вертикальная.

*В 1937–1938 гг. — командующий Балтийским флотом.

Эти составляющие удалось в значительной мере компенсировать обмотками кабеля с током. Физики ЛФТИ сразу сообразили, что компенсация не обязательно должна быть полной. Чувствительность магнитного взрывателя не могла опускаться за черту 10–20 мЭ, иначе мина подорвется от естественных колебаний магнитного поля Земли (средняя величина ~ 600 мЭ), скажем, во время магнитных бурь. Анатолий Петрович понял: задача размагничивания кораблей вполне решаема, и об этом доложил А. Ф. Иоффе. Выполнили измерения на кораблях Балтийского флота. Возможность размагничивания подтвердилась.

Итог работ ЛФТИ Анатолий Петрович подвел в докладе на заседании в АН СССР. Исследования ЛФТИ высоко оценил известный кораблестроитель академик Алексей Николаевич Крылов. Размагничиванию открылся зеленый свет.

Начатую в 1936 г. работу приняли на вооружение за три месяца до нападения Германии. К этому времени в Севастополе группа физиков под руководством А. П. Александрова полностью завершила испытания систем размагничивания на кораблях всех классов.

На Главном военно-морском совете, где принималась работа, А. А. Жданов дал указание немедленно вооружить все корабли системами «ЛФТИ». Стало разворачиваться оснащение кораблей, но до начала войны оставалось слишком мало времени, и в час икс, 22 июня, когда Гитлер напал на Советский Союз, установка систем размагничивания на кораблях только начала набирать силу.

Война. Экстренное оборудование кораблей флота системами «ЛФТИ». Успешная борьба с донными минами. С первых дней боевых действий немцы пытались блокировать наши военно-морские силы магнитными минами. Пролетали самолеты Люфтваффе, за ними вспыхивали купола парашютов, медленно опускавшихся в море, и самолеты уходили за горизонт. За этим тихим налетом скрывалась грозная опасность — на стропах парашютов висели мощные мины с сотнями килограммов взрывчатки. Они опускались на дно и перекрывали подходы к важнейшим базам ВМФ: Кронштадту, Либаве, Риге, Таллину, Севастополю. Донные мины ставили и вражеские подводные лодки, выпуская их из торпедных аппаратов. В отличие от якорных донные мины не поддавались обычному тралению. Требовались новые, электромагнитные тралы. Дело осложнялось тем, что мина срабатывала только после нескольких проходов над ней корабля — от одного до шестнадцати, в зависимости от установки взрывателя. Коварное оружие. На таких минах в первые месяцы войны на Балтике подорвались эсминцы «Гневный» и «Быстрый», крейсер «Максим Горький». Были потери и на других флотах, но ни разу не подрывались корабли, вооруженные системой «ЛФТИ».

По инициативе И. В. Курчатова с началом войны его лаборатория вошла в лабораторию А. П. Александрова. Объединение ускорило оборудование системами «ЛФТИ» кораблей всех флотов Советского Союза. Эффективность системы не вызвала сомнений, ее запрещалось отключать. Большие надежды немцев на успех в минной войне не оправдались.

В 1942 г. за разработку противоминной защиты Анатолий Петрович Александров, Игорь Васильевич Курчатов и ряд их сотрудников удостоились своей первой Сталинской премии. После окончания войны за эту работу А. П. Александров был награжден орденом Ленина, а И. В. Курчатов — орденом Красного Знамени.

Методика «ЛФТИ» была лучшей в то время. Для обмена опытом в 1942 г. в Севастополь прибыла группа английских морских инженеров [3]. К своему удивлению, они убедились — разработанные русскими системы ни в чем не уступают их собственным.

Система «ЛФТИ» оказалась особенно эффективной на Волге, когда немецко-фашистское командование пыталось заблокировать перевозки по великой реке. От Астрахани до Куйбышева только во второй половине 1942 г. немцы поставили 350 донных мин. Важным вкладом в борьбу с ними стало размагничивание волжских судов, бронекатеров Сталинградской флотилии.

И после окончания войны системы размагничивания кораблей не отключали. Донные мины вытралить нелегко. Западные союзники уже в послевоенное время потеряли на них 250 судов.

Были и у нас потери [1, 3]. Так, уже после победы канонерская лодка «Аргунь» встала на внешнем рейде Таллина. Система «ЛФТИ» была включена. Команда сошла на берег. Дежурный электрик обратился к вахтенному офицеру с просьбой отключить питание, чтобы не гонять зря мотор-генератор, и получил добро. В самый момент отключения под кораблем взорвалась донная мина. Канонерке оторвало корму.

Директор Института физических проблем (ИФП). В конце 1943 г. произошла знаменательная встреча Анатолия Петровича с Игорем Васильевичем, руководившим с конца 1942 г. работами по созданию ядерной бомбы [1, 2].

Игорь Васильевич напомнил другу о довоенном семинаре в ЛФТИ, на котором Анатолий Петрович докладывал о термодиффузионном методе разделения изотопов урана. Предварительные оценки показали, что метод не позволит получить высокообогащенный уран для ядерной бомбы. Но вполне достижимо было двухпроцентное обогащение. Курчатов убедил Анатолия Петровича, что и такой уран может потребоваться, если на отечественном уране и графите не пойдет самоподдерживающаяся цепная реакция деления, хотя бы из-за недостаточной их очистки от примесей, поглощающих нейтроны.

Лаборатория Анатолия Петровича в 1944 г. вернулась из эвакуации в Ленинград, и начались работы по термодиффузионному разделению изотопов

^{238}U и ^{235}U на шестифтористом уране, единственном газообразном соединении элемента № 92.

Научно-исследовательская часть прошла успешно. По настоянию Ванникова построили полупромышленную установку производительностью 200 г урана, содержащего 2 % изотопа ^{235}U (в естественном уране концентрация ^{235}U -го всего 0,7 %), в сутки.

В дальнейшем термодиффузионное направление не получило развития из-за высокой энергоемкости производства. Но силы были затрачены не напрасно. В то время у нас и в США считали целесообразным опробовать все доступные методы разделения. Представлялось, что только так удастся выбрать оптимальный вариант разделения, и в конечном итоге это себя оправдало.

После окончания войны в 1946 г. по настоянию Курчатова лабораторию Анатолия Петровича перевели в Москву, а его назначили директором Института физических проблем (ИФП) вместо попавшего в опалу П. Л. Капицы.

К этому времени проблема атомной бомбы перед страной встала во весь рост — в июле 1945 г. американцы успешно провели испытание первой атомной бомбы, и, естественно, Институту физических проблем, как и многим другим научным учреждениям, были поручены задачи, связанные с созданием ядерного оружия.

Плутониевые элементы атомной бомбы требовалось защитить от коррозии никелевым слоем. Технологию на моделях разработал А. И. Шальников. Анатолию Петровичу пришлось заниматься проблемой на реальных плутониевых деталях на заводе «В» комбината № 817. Отклонение покрытия от плоскости допускалось таким, как при обработке зеркал телескопов, — не более 0,25 мкм. Ю. Б. Харитон показал, что при соблюдении такой точности никакие факторы не повлияют на мощность ядерного взрыва. Трудности усугублялись тем, что покрытие нельзя было обрабатывать механически — плутониевая деталь при этом могла деформироваться. Анатолий Петрович обошелся без механической обработки.

Другой проблемой, поставленной перед ИФП, стало производство тяжелого водорода — дейтерия.

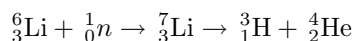
С этой целью Анатолий Петрович решил использовать метод ректификации.

Ректификация — процесс разделения компонентов жидких смесей, основанный в данном случае на испарении водорода и раздельной концентрации паров против H_2 и дейтерия в особых перегонных аппаратах — ректификационных колоннах. Опытная установка, ранее построенная в Днепродзержинске Институтот азотной промышленности, взорвалась. Пришлось разбираться в причинах аварии. Оказалось, при водородных температурах из примеси кислорода образовывалась твердая кристаллическая масса. Когда количество накопленной массы достигало критического значения, кислородный лед тре-

скался и бурно реагировал с водородом — происходил взрыв. Тщательная очистка водорода от кислородной примеси увеличивала время накопления критмассы до одного года. В проектируемом заводе предполагалось построить две установки. Когда одна стояла бы на профилактике — другая бы работала. Время непрерывной работы установки было принято равным четверти года — с четырехкратным запасом по сравнению с критическим временем. При таком периодическом режиме вероятность взрыва равнялась нулю.

На заседании ПГУ Анатолий Петрович дал слово, что проект завода безупречен, и по требованию Л. П. Берия подписался под протоколом. Тем самым вся ответственность ложилась на его плечи. Руководство сулило суровую кару в случае взрыва, но построенный завод работал в безаварийном режиме.

ИФП включился и в разработку методов получения ^3H , трития, — главного ингредиента водородной бомбы. Единственный путь наработки трития — облучение лития-6 (в природном литии его содержится 10 %) тепловыми нейтронами:



— реакция, открытая еще во времена Резерфорда.

Сечение захвата тепловых нейтронов изотопом лития-6 значительно больше, чем сечение захвата лития-7, поэтому для производства трития подходила и естественная смесь изотопов. Однако все же выгоднее облучать литий-6, полученный разделением изотопов, и не терять нейтроны в бесполезных реакциях с литием-7. Разделять изотопы лития пришлось хотя бы и потому, что литий-6 входит в состав термоядерной бомбы.

Тритиевый реактор-производитель должен обладать высоким запасом реактивности, достижимым только при загрузке реактора обогащенным ураном. Первый накопитель трития — реактор АИ, построенный под научным руководством Анатолия Петровича, вошел в строй в конце 1951 г. [4].

Научный руководитель по промышленным реакторам. Такая новая должность добавилась в послужном списке А. П. Александрова в 1948 г., когда уже функционировал первый уран-графитовый реактор на естественном уране — производитель оружейного плутония — плутония-239 с малым содержанием 240-го изотопа. У плутония-240 скорость распада по каналу спонтанного деления, сопровождающегося испусканием нейтронов, примерно в 46 тысяч раз выше, чем у 239-го. Поэтому сравнительно незначительная его концентрация в 239-м дает интенсивный поток спонтанных нейтронов. Из-за этого в процессе достижения критической массы не происходит резкого нарастания плотности нейтронов, приводящего к взрыву. Вместо него возникает нейтронная вспышка.

Процент содержания плутония-240 в плутонии-239 тем меньше, чем меньше нейтронный флюенс, которым облучен уран, а значит, и концентрация 239-го в облученном уране.

Для первой бомбы плутоний выделяли, когда в тонне облученного урана содержалось 0,100 кг плутония-239, т.е. 0,01%*. На одну бомбу массой ~ 6 кг приходилось переработать 60 т облученного урана.

Итак, Анатолию Петровичу предстояло решить проблему облучения больших объемов естественного урана на мощных реакторах. Тогда можно было установить паритет по числу ядерных зарядов с США. В США было несколько оружейных реакторов, и функционировали они уже несколько лет. Только рывок в производстве ядерной взрывчатки мог привести к достижению цели.

А потому под научным руководством Анатолия Петровича спроектировали по тем временам сверхмощный реактор серии АВ. Номинальная мощность его оценивалась в 250 МВт. Высота активной зоны стала меньше, чем у реактора А, зато увеличили ее радиус, несмотря на возражение Доллежала, считавшего, что новые реакторы должны полностью повторять «Аннушку». Каждый технологический канал реактора АВ контролировали расходомер, дававший два аварийных сигнала СРВ (снижение расхода воды) и ПРВ (превышение расхода воды), датчик влажности в зазоре между внешней стенкой канала и графитовой кладкой, термометр, измерявший температуру на выходе из канала. Все эти приборы практически были заново разработаны или существенно усовершенствованы под руководством и трудами А. П. Александрова.

Реактор АВ-1 был введен в эксплуатацию 15 июня 1950 г., АВ-2 — в апреле 1952 г., АВ-3 — 15 сентября 1952 г.

Скорость накопления плутония пропорциональна мощности реактора. Суммарная мощность реакторов АВ позволяла создать ядерный потенциал, достаточный для сдерживания любого противника. Находили резервы ее повышения, уже в 1952 г. мощности АВ вдвое превысили заложенные в проекте. Если оценить суммарную мощность трех реакторов АВ величиной 1500 МВт, то за год в их активных зонах накапливалось плутония на 90 зарядов для атомных бомб.

На примере пуска АВ-2 (см. раздел «Эффект Александрова») мы видели, какие непростые моменты возникают в реакторном деле. Появлялись проблемы и с материалами. В уране под действием нейтронного облучения образовывались дислокации, нарушалась кристаллическая решетка. Твэлы разбухали и перекрывали поток охлаждающей воды в канале. Чувствительные расходомеры регистрировали уменьшение потока, срабатывала аварийная защита, и канал, не набравший заданного флюенса, разгружался в бункер подреакторного пространства. В первый период эксплуатации случались так называемые «козлы», когда, как правило, из-за недостаточного охлаждения блочок

*В дальнейшем по мере совершенствования метода эмплосии допустимую концентрацию повышали несколько раз.

разрушался и перекрывал полностью воду. Раскаленный уран диффундировал в графитовую кладку*.

Нередко в канале распухший твэл застревал между ребрами и расположенные выше него блочки «зависали». Блочки выбивали из канала специальной штангой. Иногда после удара труба канала обрывалась. Последствия — длительный простой реактора для ликвидации аварии. Зависания стали настоящим бичом уран-графитовых реакторов. Простои и передача на химическую переработку урана, не набравшего установленной концентрации плутония, снижали производительность.

Анатолий Петрович нашел простой путь решения проблемы. Удалось изменить конструкцию центрирующих ребер каналов так, что появилось дополнительное место для урановых «опухолей», и вероятность «зависаний» значительно снизилась. Работа реакторов обрела стабильность. За успешную борьбу с «зависаниями» А. П. Александров, Б. Г. Дубовский и другие в 1952 г. были удостоены Сталинской премии. Проблемой распухания твэлов все это время занимались металлурги, и с распуханием в середине 50-х было покончено.

Научный руководитель работ по созданию первой атомной подводной лодки. К 1952 г. основные проблемы уран-графитовых реакторов были решены, хотя еще оставалось немалое поле деятельности для их совершенствования.

Задачей номер один перед страной стало строительство подводного флота с ядерными энергетическими установками [1, 5–7].

Американцы раньше нас приняли на вооружение ядерные подводные лодки. Инициатором и руководителем разработок был капитан первого ранга, а затем адмирал Х. Риквер**. Его лодка «Наутилус» первой пересекла в подводном положении Северный Ледовитый океан.

Подводный крейсер с ядерным двигателем трудно сравнивать с обычными дизельными подводными лодками. Корабль с реакторной энергетической установкой обладает невиданной автономностью и свободно может совершить кругосветное путешествие без всплытия на поверхность. Его скорость в погруженном состоянии в десятки раз превосходит скорость дизельной субмарины.

Атомный подводный крейсер не уступает своему надводному тезке по размерам и превосходит его по мощности двигателей. Вооруженный ракетами с атомными боезарядами подводный корабль способен уничтожить все большие города любой державы. Обнаружить же его в океанских глубинах не представлялось возможным.

*От «козлов» избавились, установив тщательный контроль за расходом воды в каждом технологическом канале.

**Х. Риквер — потомок русских эмигрантов в первом поколении.

Анатолий Петрович еще в 1948 г. говорил о необходимости проведения работ по строительству ядерных подводных лодок. Он уже тогда ясно понимал — ядерный подводный флот станет основной ударной силой страны, которая им обладает. Но его предложение отвергли. Все силы тогда сконцентрировали на создании атомной и водородной бомб.

К 1952 г. настало время советских ядерных подводных лодок. Курчатов вспомнил о мыслях Анатолия Петровича и предложил ему научное руководство решением сложнейшей проблемы, ничуть не уступавшей по трудностям эпопее создания атомного оружия.

9 сентября 1952 г. вышло постановление, подписанное И. В. Сталиным, о развертывании работ по строительству атомного флота.

Комиссия под председательством Анатолия Петровича рассмотрела ряд вариантов атомных реакторов для подводных лодок. Остановились как на главном на водо-водяном реакторе, в котором в активной зоне вода служит замедлителем нейтронов и теплоносителем одновременно. Выбор оказался исключительно удачным.

Законы термодинамики таковы — чтобы обеспечить высокий КПД силовой установки, вода должна, не закипая, нагреваться до температуры около 300 °С, а это возможно только при давлениях ~ 200 атм. Следовательно, и активная зона должна находиться в корпусе, выдерживающем такие нагрузки.

Привычный в то время графитовый замедлитель для лодочных реакторов не подходил. Для замедления нейтронов требовался большой объем графита, и реактор просто бы не поместился в подводной лодке. Работа отличалась многогранностью. В конструкторских институтах и заводах Минсредмаш создавались подразделения по морской тематике. Нельзя было обойтись без тесной связи с Минсудпромом, Военно-морским флотом, Миноборонпромом. Анатолию Петровичу приходилось координировать целую сеть, связывающую многочисленные министерства и ведомства, принимать решения по всем ключевым вопросам. Анатолий Петрович, накопивший громадный опыт работы с флотом и разностороннюю практику ученого-инженера, пользовался непререкаемым авторитетом у моряков.

Человек тактичный, он умело дирижировал всем комплексом строительства ядерного флота, начиная от работ над мобильными мощностями для подводных лодок и заканчивая корабельной архитектурой.

Требовалось провести испытание реакторных материалов по многим параметрам, разработать и испытать надежные тепловыделяющие сборки с применением самой прогрессивной технологии.

Одним из первых определяющих шагов стало строительство в 1953 г. в ЛИПАНе полномасштабной модели лодочного реактора. На ней определили характеристики различных активных зон лодочных реакторов, критические массы, шаг решеток.

Температурный эффект реактивности при рабочих температурах удалось изучить только косвенно. Для прямых измерений требовался прочный корпус, а тогда его не было — для его изготовления требовалась новая технология, а значит, и время. В прочном корпусе испытания прошли позднее.

Приходилось решать проблемы коррозионной стойкости материалов, радиолитиза воды, водно-химических режимов теплоносителя, поддержания его качества. На это ушли годы. Первая советская подводная лодка с ядерным двигателем была спущена на воду в 1957 г.

Совершенствование энергетики подводных лодок происходило непрерывно. Сменилось три их поколения, и с каждой сменой возрастала надежность, энергетический ресурс и, главное, нацеленность корабля на выполнение боевой задачи.

Ледокольный флот. Ядерные двигатели подводных лодок стали основой для разработки атомных надводных кораблей. Для нашей страны особенно плодотворным оказалось создание атомных ледоколов. Проектирование атомных ледоколов началось в 1953 г. — через год после начала проектирования атомной подводной лодки. В 1959 г. в эксплуатацию был сдан ледокол «Ленин» мощностью 44 тыс. л. с. Это судно открыло новую эру в использовании Северного морского пути. Ледокол «Ленин» проработал 30 лет и в 1990 г. был выведен из эксплуатации. В дальнейшем были построены линейные ледоколы «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал» мощностью по 75 тыс. л. с. каждый. Ледокол «Арктика» — первый надводный корабль, достигший в активном плавании в 1977 г. географической точки Северного полюса.

Доклад академика Флерова. Анатолий Петрович охватывал своей деятельностью широкий круг вопросов из разных областей науки и техники. В 1983 г. по просьбе Анатолия Петровича академик Г. Н. Флеров с содокладчиками Е. Д. Воробьевым и В. И. Кузнецовым выступили с научным сообщением на совещании президиума АН СССР [8]. Большая часть доклада была посвящена трековым мембранам, получаемым облучением тяжелыми ионами высокополимерных полиэтилентерефталатных (лавсановых) и поликарбонатных пленок на ускорителе тяжелых ионов У-300.

При сравнительно небольших энергиях тяжелые ионы — криптон, ксенон — легко пронизывают пленки толщиной 10–20 мкм, оставляя за собой трек — область радиационных повреждений диаметром порядка 0,01 мкм.

Трек травится в щелочном растворе со значительно большей скоростью, чем необлученная масса, поэтому процесс формирования пор естественным образом как бы разбит на два этапа: быстрое продольное протравливание трека, а затем относительно медленное поперечное увеличение его диаметра со скоростью травления необлученного материала. В результате образуются практически идеальные цилиндрические поры. Размером диаметров пор можно управлять, изменяя время травления. Диаметры пор трековой

мембраны лежат в широком интервале — от нескольких сотых до десятков микрон. При этом дисперсия диаметров трековых мембран с заданным средним значением диаметра составляет 2–3 %, поэтому поры принято считать калиброванными.

Далее Георгий Николаевич рассказал о перспективах применения трековых мембран: получение особо чистой воды с помощью снаряженных трековыми мембранами патронов, необходимой в больших количествах в производстве элементной базы микроэлектроники, концентрирование вакцин, которое повышает их эффективность в 10–20 раз по сравнению с другими методами, контроль стерильности медицинских препаратов. Наряду с этим Георгий Николаевич показал, что применение ускоренных пучков тяжелых ионов, бесспорно, приведет к прогрессу в ряде важнейших тонких технологий.

Проводивший совещание президент АН СССР А. П. Александров высоко оценил представленные материалы. «Сейчас, — сказал он, — открылась возможность наладить производство трековых мембран на многих ускорителях Советского Союза без ущерба для проводимых там научных работ. Применение фильтров чрезвычайно актуально для борьбы с профессиональными заболеваниями, вызываемыми попаданием в легкие вредных веществ, например, при работе с углем, кремнистыми породами. Эти фильтры могут оказаться полезными для предупреждения стафилококковой инфекции».

А. П. Александров в АН СССР высказал мнение о необходимости создать производство трековых мембран различных модификаций для науки и техники.

Вскоре последовали действия — Анатолий Петрович выделил в Москве помещение для «методического кабинета», в котором предполагалось демонстрировать аппаратуру, основанную на трековых мембранах. По его инициативе вышло распоряжение президиума АН СССР о создании в Институте кристаллографии АН СССР (ИКАН) им. А. В. Шубникова сектора ядерных фильтров — так в то время именовались трековые мембраны. Анатолий Петрович привлек к развитию работ в ИКАНе выдающихся ученых: академиком Б. К. Вайнштейна, А. М. Прохорова.

Сегодня сектор ядерных мембран ИКАН перерос в отдел трековых мембран.

Таким образом, при поддержке Анатолия Петровича в России была создана промышленность трековых мембран и изделий на их основе: в ЛЯР им. Г. Н. Флерова ОИЯИ, где зародилась сама идея производства трековых мембран на пучках ускоренных тяжелых ионов, в ИЦПЯФ Минатома РФ, где идут работы по чистым комнатам и респираторам с диффузионными газообменными аппаратами. Компании «Трем», «Плазмофильтр» (Санкт-Петербург), «Трекпортехнологджи» (Москва) нацелены на производство изделий медицинского назначения (плазмофильтры).

Ряд задач решают подразделения государственного подчинения: ФЭИ им. А. И. Лейпунского, ГУП «ФЭИ Трек» (г. Обнинск), Институт ядерной физики Сибирского отделения РАН (ИЯФ СО РАН) (г. Новосибирск), НИИЯФ при Томском государственном техническом университете.

«Методкабинет». Анатолий Петрович неоднократно посещал «методкабинет». Там он ознакомился с первым диффузионным газообменным аппаратом на трековых мембранах, который предназначался для защиты кабин грузовиков, вывозивших руду из горных карьеров.

Принцип его действия, предложенный Е. Д. Воробьевым, Анатолий Петрович понял сразу. Все процессы массопереноса в диффузионных газообменных аппаратах подобны процессам теплопередачи от стенки твэла ядерного реактора теплоносителю, в деталях знакомым Анатолию Петровичу. Ведь они — основа теплофизики ядерных реакторов.

Диффузионные газообменные аппараты относятся к энергосберегающим методам жизнеобеспечения. Аэродинамическое сопротивление каналов диффузионного газообменного аппарата на порядки меньше сопротивления при прямом потоке воздуха через мембраны, создаваемом перепадом давления. Кроме того, трековые мембраны в тангенциальных потоках не забиваются аэрозолями и не требуют замены в течение всего срока, на который рассчитан диффузионный газообменный аппарат.

При посещении Анатолием Петровичем «методкабинета» зашел разговор об аэродинамике газообмена в диффузионных респираторах на трековых мембранах. Процессы массопереноса в диффузионных газообменных аппаратах и теплопередачи, скажем, от стенок тепловыделяющих элементов ядерных реакторов описываются одинаковыми математическими уравнениями, и их называют подобными. Академик указал на возможность использования данных, полученных при изучении теплопередачи, для расчета диффузионных респираторов на основе теории подобия. Он также отметил плодотворность изучения пристеночных слоев воздушных потоков, обтекающих поверхность трековых мембран газообменных систем.

«В этом респираторе легко дышится». Е. Д. Воробьев не пропустил высказывания Анатолия Петровича об актуальности борьбы с профзаболеваниями при работе с «углем и кремнистыми породами» и решил применить диффузионные газообменные аппараты для респираторов. Уже первый макет оказался удачным.

К Анатолию Петровичу в начале 80-х попасть было непросто, нам как-то сведущие люди сообщили — у Анатолия Петровича 21 должность! Президент АН СССР, директор Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, председатель научно-технического совета Минсредмаша, научный руководитель ряда важнейших направлений, он был чрезмерно загружен работой. Но он находил время принять Е. Д. Воробьева и В. И. Кузнецова, чтобы обсудить проблемы диффузионного респиратора. В первый раз, когда Анатолий Петрович сам

опробовал респиратор в своем кабинете, то сказал: «Да, перспективный аппарат — в этом респираторе легко дышать».

Сегодня производство диффузионных газообменных респираторов получило второе дыхание, они стали универсальными, пригодными для работ в самых тяжелых условиях, не вносят дополнительного утомления в органы дыхания. Они отлично работают при высокой влажности.

Внимание к ОИЯИ. Анатолий Петрович следил за функционированием и развитием Объединенного института ядерных исследований. Он был хорошо знаком со всем его руководством.

ОИЯИ был создан как международный научно-исследовательский центр 26 марта 1956 г. Его основой послужили два научно-исследовательских учреждения — Институт ядерных проблем АН СССР с действующим синхротроном и Электрофизическая лаборатория, в которой заканчивалось сооружение синхрофазотрона с пучком протонов с энергией 10 ГэВ. Ученые ОИЯИ на этой базе начали интенсивные исследования в новой тогда области — физике высоких энергий.

Весной 1976 г., в год юбилейный, настало время подвести итоги деятельности Объединенного института ядерных исследований [9].

От имени Президиума Верховного Совета СССР президент АН СССР А. П. Александров вручил Объединенному институту орден Дружбы народов за успехи, достигнутые в фундаментальных и прикладных исследованиях в области физики элементарных частиц и ядерной физики, большой вклад в подготовку высококвалифицированных научных кадров.

Анатолий Петрович с удовлетворением отметил, что за прошедшие годы в Дубне встали на ноги три новые лаборатории: Лаборатория теоретической физики с вычислительным отделом, Лаборатория ядерных реакций с циклотроном тяжелых ионов У-300, Лаборатория нейтронной физики с импульсным реактором ИБР-30. Циклотрон и реактор вошли в строй в 1960 г.

Итоги. Вся деятельность Анатолия Петровича Александра характеризуется практической направленностью, разносторонностью, непосредственной связью с промышленностью.

Анатолий Петрович решил ряд проблем, существенно повлиявших на судьбы Советского Союза и России.

К началу войны его трудами, активным руководством коллективами талантливых сотрудников была разработана система противоминной защиты и оборудованы ею корабли и суда Военно-морского флота СССР. Это нейтрализовало новое оружие Вермахта — донные мины и торпеды с магнитными взрывателями. Врагу не удалось с помощью «магнитного» оружия (а на него фашисты возлагали большие надежды) блокировать на базах наш Военно-морской флот. Не будь системы защиты «ЛФТИ» — мы понесли бы невосполнимые потери.

Анатолий Петрович блестяще осуществлял научное руководство строительством и эксплуатацией реакторов — производителей плутония. Благодаря его энергии в предельно короткий срок удалось установить паритет с Соединенными Штатами в оснащенности вооруженных сил ядерными боеголовками.

Ему было поручено научное руководство строительством первой советской атомной подводной лодки, а затем и всего атомного подводного флота — главной ударной силы великой державы.

Его дела заложены в фундамент, на котором стоит Российская Федерация и в наши дни. Без ядерного вооружения, атомоходов, атомных электростанций Россия не числилась бы в ряду великих держав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров П. А. Академик Анатолий Петрович Александров. Прямая речь. М.: Наука, 2001.
2. Александров А. П. Годы с И. В. Курчатовым // Наука и жизнь. 1983. № 2.
3. Ткаченко Б. А. История размагничивания кораблей советского Военно-морского флота. Л., 1981.
4. Круглов А. К. Как создавалась атомная промышленность в СССР. М.: ЦНИИАтоминформ, 1995.
5. Ядерной науке и технике России — 50 лет: Сб. докл. юбилейной научно-практической конф., посвященной 50-летию создания атомной отрасли. М., 1996.
6. Александров А. П. Атомная энергетика и научно-технический прогресс. М.: Наука, 1978.
7. Александров А. П. Наука — стране. М.: Наука, 1983.
8. Флеров Г. Н. Синтез сверхтяжелых элементов и применение методов ядерной физики в смежных областях // Вестник АН СССР. 1984. Т. 4. С. 35.
9. XX лет ОИЯИ и развитие физики элементарных частиц и атомного ядра: Сб. докл., выступлений, приветствий, посвященных юбилею Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1976.