

УДК 539.16

*A.G. Колесников*

## **Нейтронная физика: генезис и перспективы развития (Часть 2)**

### **Аннотация:**

Раскрыта история нейтронной физики, охватывающая период от предпосылок ее возникновения до современных дней. На формирование нейтронной физики как самостоятельной дисциплины оказали влияние не только научные законы развития, но и феномен особого исследовательского духа, которым наделены отдельные ученые. Освещены наиболее важные события, повлиявшие на теоретические сдвиги нейтронной физики в XX в. Сделан вывод о возможных перспективах ее дальнейшего развития в XXI в.

**Ключевые слова:** атомная физика, молекулярная физика, ядерная физика, радиоактивность, ядерная техника, ядерная (атомная) энергетика, атомная промышленность.

**Об авторе:** Колесников Александр Георгиевич, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), ведущий инженер Научно-экспериментального отдела комплекса спектрометров (НЭОКС) ИБР-2 Лаборатории нейтронной физики; Государственный университет «Дубна», заведующий лабораторией вакуумного напыления Инжинирингового центра университета «Дубна»; эл. почта: [torgcentr2004@mail.ru](mailto:torgcentr2004@mail.ru)

Во второй половине 1930-х гг. Европу охватил нацизм. Это серьезно повлияло на работу, жизнь и мировоззрение многих ученых. Например, итальянский ученый Э. Ферми, жена которого была еврейкой, в 1939 г. тайно эмигрировал в США. Покинули Германию такие видные ученые, как немецкие физики еврейского происхождения Лиза Майтнер и Альберт Эйнштейн. После оккупации Франции Ирен и Фредерик Жолио-Кюри вошли во французское Движение Сопротивления.

В 1934 г., еще в Италии, Э. Ферми открыл принцип замедления нейтронов, а в 1935 г. Ирен и Фредерик Жолио-Кюри доказали получение новых радиоактивных элементов, образующихся при облучении медленными нейтронами. Они не подозревали, что сделали

первый шаг навстречу ядерной опасности. Хотя научную мысль не остановить, ведь этим же в нацистской Германии занимались Отто Ган и Фриц Штрасман, которые в декабре 1938 г. в результате эксперимента пришли к выводу, что облучение урана медленными нейтронами приводит к распаду ядра урана с образованием легких элементов [8].

Куда исчезала разность в массах элементов? Физическое обоснование потери массы было опубликовано в отдельной статье Лизы Майтнер, где предполагалось образование реакции с каскадным распадом ядер до образования легких элементов, разлетающихся с огромной энергией [14]. Величину этой энергии обосновал А. Эйнштейн, показавший, что потеря массы  $m$  в соответствии с формулой  $E=mc^2$  связана с мгновенным выделением энергии  $E$  ( $c$  – скорость света). Это открытие вызвало большое волнение в научном сообществе и целую лавину публикаций и исследований, посвященных цепной реакции деления ядер. Многие физики начали обсуждать возможность цепной реакции. Если всякий раз, когда нейtron расщепляет атом урана, испускались новые нейтроны, то они могли бы, сталкиваясь с другими атомами урана, порождать новые нейтроны и тем самым вызвать незатухающую цепную реакцию. Поскольку при каждом делении урана высвобождается большое количество энергии, цепная реакция могла бы сопровождаться мгновенным выделением колоссальной энергии. Если бы удалось «взнуздать» цепную реакцию, то уран стал бы взрывчатым веществом неслыханной силы. С этого момента был запущен маховик создания взрывчатого вещества гигантской разрушительной силы – оружия массового уничтожения – началась разработка ядерного оружия.

24 апреля 1939 г. профессор Гамбургского университета Пауль Хартек обратился в германское Имперское военное министерство с письмом, в котором сообщал, что, основываясь на опытах О. Гана и Ф. Штрасмана, можно создать новый вид высокоэффективного взрывчатого вещества. В конце письма говорилось, что «та страна, которая первой сумеет практически овладеть достижениями ядерной физики, приобретает абсолютное превосходство над другими» [11]. В 1930-х гг. немецкие физики имели самый большой потенциал в развитии ядерной физики. Самым выдающимся физиком-теоретиком Германии того времени был В. Гейзенберг. От физиков-перебежчиков из Германии и от разведки как США, так и СССР стало известно о чудовищных планах нацистской Германии. Авторитет немецкой ядерной физики во всем мире был столь высок, что и в Англии, и в США, и в СССР всерьез опасались плодов изобретательности «сумрачного германского гения» [15]. Серьезнее всего эту опасность восприняли в США и Англии. Завершилась

эпоха открытости научных знаний. Началась эпоха закрытости и научного шпионажа: так, в 1939 г. Управление армейских вооружений Германии наметило создание нового оружия, засекреченные работы в этом направлении получили название «Урановый проект». В это же время в США создается секретная лаборатория по разработке атомной бомбы с кодовым названием «Металлургическая» с участием группы Э. Ферми.

В СССР в 1939 г. советские физики, взъявленные надвигающейся опасностью, начали интенсивные исследовательские работы. Одними из первых Ю. Харитон и Я. Зельдович рассчитали цепную реакцию урана-235 и необходимость его обогащения, а в 1940 г. К. Петржак и Г. Флеров под руководством И. В. Курчатова открыли явление спонтанного деления ядер урана. Параллельно и независимо в Германии эти же расчеты выполнил В. Гейзенберг, а в США подобные расчеты были сделаны Э. Ферми в мае 1941 г.

Результаты расчетов показывали необходимость обогащения урана-235 до 90% (природный уран содержит лишь 0,75% урана-235, остальное – уран-238). Для получения необходимого для заряда бомбы 60 кг обогащенного урана-235 необходимо переработать 10-15 тонн природного металлического урана. Кроме того, расчетами было показано, что уран-238 поглощает избыточные медленные нейтроны, превращаясь в плутоний-239, который при распаде выделяет много больше энергии, чем уран-235. Было показано, что с помощью управляемой само-поддерживаемой цепной ядерной реакции можно получить из природного урана более мощный в оружейном понимании плутоний-239. Тем не менее оставалось много неясностей в расчетах, требующих проведения подтверждающих экспериментов, поэтому сначала наметилась необходимость в получении устойчивой управляемой цепной реакции. Это требовало создания опытного уранового ядерного реактора.

### **«Манхэттенский проект»**

Решение задачи обогащения по урану-235 и задачи получения оружейного плутония требовали разработки новых технологических решений и огромных затрат, в том числе и квалифицированных людских ресурсов. Поэтому в 1941 г. США и Англия объединяют усилия и принимают решение о немедленном выделении средств и начале создания ядерного оружия в строжайшей секретности. Об этом знает только узкий круг лиц, включая президента США Франклина Рузельта и премьера Англии Уинстона Черчилля.

Создание реактора по расчетам Э. Ферми требовало наличия металлического природного урана высокой чистоты, оксида урана и высочайшей очистки прессованного в

брикеты графита. И все это в очень больших объемах. Промышленность США и Англии начала работать нарастающими темпами. К осени 1942 г. в США уже было преодолено большинство технологических барьеров, исследования оказались одобрены правительством, ученые получили в свое распоряжение достаточное количество высоко очищенного графита, природного металлического урана и его окиси.

В феврале 1943 г., после проведения запланированных опытов, «Чикагская поленница» была разобрана. На основании обретенного опыта были построены промышленные реакторы для получения оружейного плутония-239. Для обогащения по урану-235 были построены в большом количестве обогатительные фабрики, основанные на газодиффузионном методе. Проект по созданию атомной бомбы передали под начало военных, и он получил название Манхэттенский проект, в рамках которого в марте 1943 г. начала работу Лос-Аламосская лаборатория, где в условиях тотальной секретности и под неусыпным надзором контрразведки трудились ведущие специалисты-ядерщики со всего света (в том числе двенадцать нобелевских лауреатов).

### **«Урановый проект» Германии**

В нацистской Германии все началось с совещания в Управлении армейских вооружений в сентябре 1939 г., на котором был собран звездный состав ученых-физиков: Пауль Хартек, Ганс Гейгер (впоследствии покинувший Германию), будущие лауреаты Нобелевской премии по физике Вальтер Боте, Вернер Гейзенберг и др. Ученые заверили, что для создания ядерного оружия им может понадобиться от 9 до 12 месяцев, то есть физики обещали сделать атомную бомбу к концу 1940 г. [5]. Программу назвали «Урановый проект». Теоретическую группу «Уранового проекта» фактически возглавлял Гейзенберг, разрабатывающий теоретические основы цепной реакции. Над созданием «урановой машины» – опытного реактора, сосредоточился Вайцзеккер с группой участников.

Поздней весной 1940 г. был проведен первый опыт осуществления цепной реакции, с использованием оксида урана и твердого графитового замедлителя, который окончился неудачей. Виной всему посчитали неправильные расчеты Боте. Сейчас известно, что проблема была в плохой очистке графита. В результате немецкие физики перешли на использование вместо графита тяжелой воды. В 1941 г. в Лейпцигском университете под руководством Георга Депела был построен опытный реактор с замедлителем из тяжелой воды. В мае 1942 г. удалось достичь производства нейтронов в количестве, превышающем их поглощение, что только намекало на цепную реакцию. Однако через несколько недель

реактор взорвался. На совещании военного руководства и ученых в 1942 г. Гейзенберг заявил, что решение проблемы займет как минимум два года. Затянувшаяся война и особенно поражение гитлеровцев под Сталинградом привели к серьезному изменению настроений верхушки Третьего Рейха. Гитлер настаивал на финансировании тех военных разработок, которые могли быть реализованы в кратчайшие сроки. Поэтому в марте 1943 г. Управление вооружений сухопутных сил передало работу над проектом в ведение гражданского имперского исследовательского совета, что фактически поставило крест на этом проекте. Вместе с тем полноценной цепной реакции на экспериментальном реакторе немецким ученым все же удалось достичь, но только в феврале 1945 г.

Как же могло случиться, что Германия, изначально лидирующая в ядерных исследованиях, не дошла до создания атомной бомбы? Одной из причин считают сам нацистский режим, который мешал развитию науки и свободному творчеству физиков, научный потенциал которых пострадал после отъезда Эйнштейна и других видных ученых, покинувших страну после победы нацистов на выборах в 1933 г. Некоторые оставшиеся физики работали без большого энтузиазма. Другая причина – ошибочный выбор в качестве замедлителя тяжелой воды. Кроме этого, диверсии и бомбардировки уничтожали большие объемы тяжелой воды, урана и другие ресурсы. Нацистская Германия, ведущая войну, не могла выделить на проект ресурсы в таких масштабах, как это делали в США. В американском проекте «Манхэттен», посвященном разработке ядерного оружия, принимало в полторы тысячи раз больше людей, чем в немецком «Урановом проекте», а финансирование в 200 раз превышало суммы Третьего рейха.

### **Урановый проект СССР**

Работам, активно начатым Ю. Харитоном и Я. Зельдовичем, следовал энергичный В. А. Маслов, сотрудник Харьковского физико-технического института, предложивший в августе 1940 г. ускорить работы по «проблеме урана» и резко увеличить объемы добычи урансодержащих руд. Он же подал в октябре 1940 г. секретную заявку на изобретение атомной бомбы под названием: «Об использовании урана в качестве взрывчатого вещества». Но председатель государственной комиссии по проблеме урана, директор Радиевого института АН СССР, академик В.Г. Хлопин 17 апреля 1941 г. в письме в Управление военно-химической защиты народного комитета обороны СССР утверждал: «Положение с проблемой урана в настоящее время таково, что практическое использование внутриатомной энергии является более или менее отдаленной целью, к которой мы должны

стремиться, а не вопросом сегодняшнего дня» [5, с. 228]. Впоследствии академик В.Г. Хлопин с горечью отмечал, что за весь 1941 г. задание по добыче солей урана в СССР составляло всего 0,5 тонн, в то время как в мире, по его данным, ежегодно добывалось 250...275 тонн металлического урана.

Нападение Нацистской Германии на Советский Союз вызвало немедленную приостановку ядерных исследований в нашей стране. Уже в первые месяцы боевых действий возникла угроза Ленинграду и Москве, поэтому решением правительства СССР основные институты, занимавшиеся проблемами ядерной физики, во второй половине лета 1941 г. были эвакуированы в Казань.

В.А. Маслов добровольцем ушел на фронт и погиб в одном из боев. Сделавший открытие мирового класса Г.Н. Флеров также добровольно отправился в военкомат и был направлен техником в разведывательную авиационную эскадрилью.

Основные теоретики ЛФТИ, в том числе будущие академики А.П. Александров и И.В. Курчатов в этот период переключились на решение важнейшей для военно-морского флота проблемы – защиты кораблей от магнитных мин. Ю.Б. Харiton, специалист по теории взрыва, изучал трофейные образцы вооружения, принимал участие в разработке физических основ отечественных кумулятивных боеприпасов и, в частности, ручной противотанковой кумулятивной гранаты РПГ-6, поступившей на вооружение в 1943 г.

Таким образом, исследования по ядерной проблематике в СССР с началом войны были практически свернуты. Но почти через год после начала боевых действий интерес к ним вновь усилился по нескольким причинам. Во-первых, убежденность в том, что создание ядерной бомбы и ее появление в руках противника принесет неисчислимые беды. Во-вторых, высокая активность в форсировании работ по урановому проекту развили Г.Н. Флеров, неоднократно обращавшийся с письмами в различные инстанции: «...нужно все время помнить, что государство, первое осуществившее ядерную бомбу, сможет диктовать всему миру свои условия. И мы не должны допустить этого» [16]. В-третьих, вскоре после нападения Германии на Советский Союз, отечественные разведорганы стали получать информацию «из первых рук» об осуществлении англо-американского ядерного проекта.

На решение о возобновлении в СССР работ по урану повлияла найденная в апреле 1942 г. убитого партизанами немецкого офицера тетрадь с записями, формулами и графиками по урановой тематике и эмоциональное публичное выступление Гитлера о подготовке немцами «сверхоружия». В мае 1942 г. С.В. Кафтанов, уполномоченный

Государственного комитета обороны СССР по науке, заручившись поддержкой академика А. Ф. Иоффе, направил в ГКО письмо о необходимости создания в СССР научного центра по проблеме атомного оружия.

В июле 1942 г. в Москву были вызваны Г.Н. Флеров, А.Ф. Иоффе, В.И. Вернадский, В.Г. Хлопин и П.Л. Капица. Сталин назначил куратором урановой проблемы от ГКО В.М. Молотова. Ответственность за развертывание работ возлагалась на академика А.Ф. Иоффе, которому предписывалось «организовать при Академии наук специальную лабораторию атомного ядра» [6, с. 269], названную Лабораторией №1 АН СССР. Впоследствии эти функции были переданы И. В. Курчатову, который сделал вывод о том, что в исследованиях проблемы урана советская наука значительно отстала.

В конце января 1943 г. Курчатов направил Молотову план работы спецлаборатории атомного ядра. Работы начинались практически с нуля. В письме, направленном Сталину 19 мая 1944 г., М. Г. Первухин констатировал: «Чтобы догнать заграницу, мы должны поставить разработку проблемы урана на положение важнейшего государственного дела» [15]. Камнем преткновения для развертывания работ на первом этапе функционирования лаборатории стала нехватка урана. Для этого требовалось широко развернуть геологоразведочные работы по отысканию урановых месторождений в СССР, что было сделано в кратчайшие сроки. Постепенно И.В. Курчатов собирает вокруг себя выдающихся ученых страны, понимая, что иначе Атомный проект осуществить не удастся [9].

### **Разведывательные материалы**

Осенью 1941 г. на связь с советскими разведчиками по собственной инициативе вышел Клаус Фукс, работающий в группе теоретиков, участвовавших в решении ядерной проблемы в Великобритании, а в 1944 г. вошел в число разработчиков «Манхэттенского проекта». В 1933 г. К. Фукс, будучи членом компартии, покинул Германию. Работая в Великобритании, он считал, что стремление английского и американского правительства скрыть от СССР, своего союзника, факт начала работ по созданию ядерного оружия свидетельствовало о том, что эти работы были направлены против страны, в тот момент выступающей единственным противником нацистской Германии на континенте. Материалы для передачи он получал потрясающее просто: печатал на машинке свои отчеты через копирку, получая дополнительный экземпляр [19].

Гражданин США Морис Коэн, сотрудничавший по идейным соображениям с советской разведкой в годы войны и передававший информацию по атомному проекту, был

выходцем из эмигрантской еврейской семьи. Леонтина Петка, ставшая его женой 22 июня 1941 г., происходила из польских католических эмигрантов. В 15-летнем возрасте она уже вступила в Социалистическую партию, а позже перешла в Коммунистическую. К моменту знакомства с Моррисом она полностью укрепилась в своих взглядах, но даже выходя замуж, не знала о том, что ее супруг стал советским шпионом [22]. Когда Морис предложил жене работать вместе, Леонтина не раздумывая согласилась. В Центре их знали под псевдонимами «Луис» и «Лесли». За их плечами множество важной информации, среди которых передача не только чертежей, но и рабочей модели нового пулемета. В 1943 г. Моррис завербовал ученого, получившего псевдоним Персей, из лаборатории ядерного центра в Лос-Аламосе, где команда Роберта Оппенгеймера работала над созданием атомной бомбы. В августе 1943 г. Леонтина в почти детективной опасной операции, впоследствии названной «коробочка с салфетками», вывезла чертежи и расчеты атомных разработок и первой американской плутониевой бомбы «Толстяк» [10].

Персей раскрыл секрет обогащения урана и принцип работы бомбы – имплозию. Он же сообщил информацию о точной дате первого испытания атомной бомбы. За свою работу супруги Коэны, пусть и посмертно, получили звание Героев России. Подобных источников было много, например, Владимир Борисович Барковский, «Кембриджская пятерка» – группа из нескольких высокопоставленных чиновников в разведывательных и дипломатических кругах Великобритании, и др. И.В. Курчатов подчеркивал, что полученные от разведки материалы позволили избежать многих ошибок, пройти ряд этапов, не занимаясь ими самостоятельно, что значительно сократило время разработки ядерного оружия [7].

### **Немецкие специалисты в атомном проекте СССР**

В начале 1945 г., когда советские войска вступили на территорию Германии, был организован секретный поиск немецких ученых и специалистов с целью изучения степени разработанности проблемы использования внутриатомной энергии урана и возможности применения их опыта в работах по урану в Советском Союзе. Присутствие немецких специалистов в СССР держалось в строжайшей тайне. Всего в СССР для работы по атомной проблематике было приглашено более 300 немцев, включая членов их семей [12]. Большая часть немецких ученых принудительно была эвакуирована из Берлина и Восточной Германии в Западную и Южную Германию и попала в руки американцев и англичан (в

частности, Ган, Гейзенберг, Герлах, Дибнер, Боте, Ляуе). В советскую зону оккупации попала лишь меньшая часть.

Осенью 1945 г. в подмосковный город Электросталь прибыла группа захваченных немецких ученых во главе с ученым с мировым именем, корифеем урановой металлургии Николаусом Рилем [17]. К концу 1946 г. завод поставлял Курчатовской лаборатории № 2 почти по 3 тонны металлического урана в неделю с нарастанием темпов производства. С 1945 по 1950 гг. Риль возглавлял производство металлического урана на заводе № 12. В 1949 г. он, единственный награжденный столь высоким званием иностранец, стал Героем Социалистического труда.

### **Первый ядерный реактор в СССР**

Теоретические и экспериментальные исследования особенностей пуска, работы и контроля реактора были проведены группой физиков и инженеров под руководством академика И. В. Курчатова. В отличие от американского реактора CP-1, Реактор Ф-1 (что расшифровывалось как «физический первый») предназначался не только для определения критической массы урана-235, но и для долгосрочного проведения различных исследований, обосновывающих сооружение промышленных уран-графитовых реакторов, в том числе для производства оружейного плутония, получения изотопов для использования в медицинских и научных целях и для многих других целей.

По мере поступления материалов с предприятий началось моделирование сборки активной зоны реактора. С большим энтузиазмом днем и ночью, в армейских палатках, научные сотрудники, лаборанты и рабочие собирали графитовые призмы с ураном, проводили десятки физических экспериментов, по которым уточнялись физические параметры реактора, изучали характеристики урановых блоков, выбирали их оптимальные размеры. Из различных вариантов был выбран гетерогенный реактор, где уран располагается отдельными блоками между замедлителем реакции, в качестве которого использовался графит.

25 декабря 1946 г. был собран 62 слой графитовых блоков и стало ясно, что реактор достиг критичности. Этот момент считается временем пуска реактора Ф-1. Практически с первого же дня реактор стали эксплуатировать в круглосуточном режиме при мощности от 100 Вт до 10 МВт [21]. В октябре 1947 г. на реакторе была обучена первая группа инженеров для управления работой атомного реактора, были проведены многочисленные исследования в области ядерной физики, необходимые для создания атомных

электрических станций, и натурные испытания аппаратуры безопасности. В 2012 г. реактор был заглушен<sup>1</sup>.

### **Атомно-бомбовый шок. Эра ядерного сдерживания**

После поражения Германии США и Британия пытались диктовать СССР свои условия, и, не добившись успеха, 5 марта 1946 г. в Фултоне Уинстон Черчилль в присутствии президента США Гарри Трумэна произнес свою знаменитую речь о «железном занавесе», который разделил Европу на два враждебных лагеря. Речь положила начало Холодной войне, направленной против СССР, находящейся в тяжелом послевоенном состоянии.

6 и 9 августа 1945 г. США сбросили атомные бомбы на Хиросиму и Нагасаки, что привело к гибели сотен тысяч людей и разрушению городов. Эти события стали символом ужасающей силы ядерного оружия и его способности уничтожать целые нации. Мир содрогнулся от осознания того, что теперь есть инструмент, способный стереть с лица земли все живое. Общее число жертв бомбардировки Хиросимы оценивалось примерно в 200 тысяч, а Нагасаки – в 140 тысяч гражданских жителей.

Основной целью атак была демонстрация атомной мощи США и влияние на СССР перед его вступлением в войну с Японией на Дальнем Востоке. Однако в СССР знали о готовящемся преступлении США, поэтому, независимо от этих событий, 9 августа 1945 г. советские войска начали освобождение Китая от японских захватчиков и менее чем через месяц, 2 сентября 1945 г. ВС СССР на Дальнем Востоке завершили Маньчжурсскую стратегическую наступательную операцию, в ходе которой были освобождены северо-восточные территории Китая, северная часть Кореи, Южный Сахалин и Курильские острова.

Для усиления давления на СССР в 1948 г. США произвели еще три новых экспериментальных подрыва ядерных боеприпасов. Но 29 августа 1949 г. на Семипалатинском полигоне в Казахстане было произведено испытание первой советской атомной бомбы РДС-1, которое стало не только триумфом советской науки, но и важным событием, изменившим баланс сил в мире.

---

<sup>1</sup> Более 60-лет реактор Ф-1 находился в рабочем состоянии. 26 декабря 2016 г. в здании, где он размещался, был открыт музей. Сегодня реактор Ф-1 имеет статус памятника науки и техники Российской Федерации.

Монополия США на владение ядерным оружием была разрушена. Над созданием атомной бомбы при высоком напряжении работали коллективы лучших ученых-физиков того времени. Хотя конструкция бомбы во многом опиралась на американские прототипы, многие системы принадлежали уже собственной разработке. Это событие ознаменовало ядерную гонку. Уже в 1951 г. США произвели 16 атомных взрывов. Эксперименты были направлены на получение при минимальных размерах максимальной мощности взрыва и приближали эру термоядерного оружия.

12 августа 1953 г. на полигоне под Семипалатинском Советский Союз впервые провел успешные испытания водородной бомбы РДС-6с, созданной под руководством А.Д. Сахарова. В ноябре 1955 г. там же провели испытание более мощной бомбы.

С первых шагов ядерной гонки в обеих странах акцент был сделан прежде всего на программах опытных взрывов. Их проведение необходимо для совершенствования зарядов и увеличения их мощности. 28 января 1954 г. в США было взорвано экспериментальное термоядерное устройство мощностью 15 мегатонн (Мт) в тротиловом эквиваленте и следом еще два – 11 и 13,5 Мт. Для сравнения: на Хиросиму была сброшена бомба мощностью 13–18 килотонн, а на Нагасаки – 21 килотонна, которые полностью уничтожили города. Игра мускулами требовала информационной поддержки, и 7 апреля 1954 г. был выпущен документальный кинофильм, производящий сильное впечатление на мощь американского оружия.

Однако 30 октября 1961 г. на Северном испытательном полигоне Новая Земля был испытан термоядерный заряд мощностью 100 Мт в варианте 50 Мт (из опасений возникновения экологической катастрофы мощность снизили), разработанный в КБ-11 под руководством А.Д. Сахарова. Эта бомба с маркировкой АН602 (она же «Царь-бомба», она же «Кузькина мать») стала самым мощным взрывным устройством, созданным за всю историю человечества [1]. Среди последствий испытания фиксировалась сейсмическая волна от взрыва, которая трижды обогнула земной шар; а в поселке, находившемся за 400 километров от эпицентра взрыва, разрушены деревянные дома и сорваны крыши у каменных зданий; на сотни километров вокруг прервалась радиосвязь; в радиусе 50 км от эпицентра все горело, хотя перед взрывом лежал двухметровый снег.

Взорванная бомба никогда не являлась оружием и военного значения не имела. Это был акт разовой силовой демонстрации. Испытание «Царь-бомбы» стало ключевым фактором, позволившим Советскому Союзу обеспечить ядерно-оружейный паритет с

США. Установившееся сбалансированное ядерное противостояние между США и СССР определило мирное состояние международных отношений на длительный период, несмотря на гонку вооружений и перманентную угрозу ядерной войны. Но именно непрерывное развитие отечественной ядерной триады гарантирует ответный удар по США при любых сценариях, и это страхует мир от прямого конфликта двух держав.

### **Мирный атом**

26 июня 1954 г. в СССР запускается первая в мире атомная электростанция – Обнинская АЭС. В ходе проектирования и сооружения атомной станции ученым, конструкторам и инженерам приходилось решать множество задач, к которым раньше никто даже не подступался. Обнинская АЭС – не просто электростанция, она стала испытательным полигоном, на котором прорабатывались детали будущих станций<sup>1</sup>.

Благодаря активности МАГАТЭ, ядерные реакторы для мирных целей получили широкое распространение с конца 1950-х гг. Это был период бурного развития ядерного реакторостроения. Тогда все страны хотели иметь устройства для выработки энергии или производства радиоактивных веществ – это считалось признаком научно-технической и экономической мощи, и уже через десять лет каждая индустриально развитая страна имела или стремилась иметь свой реактор [2].

### **Источники для нейтронных исследований**

Первые ядерные реакторы, помимо решения задач реакторной техники и физики, использовались для радиационных исследований и производства изотопов, используя выведенный из реактора пучок нейтронов. Нейтроны, обладая волновыми свойствами и нейтральным зарядом, способны проникать глубоко в материал вещества подобно рентгеновским лучам, но взаимодействуют не с электронными оболочками атомов, как рентген, а с ядрами атомов. В зависимости от длины волны нейтроны способны давать информацию о внутреннем содержании металлических сосудов, внутреннем составе сварных швов, структуре биомолекул, кристаллической структуре кристаллов, в том числе металлических и их магнитной структуре, изотопном составе вещества и многое другое, недоступное рентгеновским исследованиям [18]. Усиливающийся интерес к нейтронным

---

<sup>1</sup> Сегодня прямо в стенах Первой АЭС расположен музей, один из самых посещаемых в Калужской области. А город Обнинск стал мировым центром ядерного образования.

исследованиям сегодня связан с огромными зондирующими возможностями нейтронов, которые до сих пор полностью не реализованы.

Уже через три года после открытия нейтрона, летом 1935 г. группа Колумбийских ученых Дж. Даннинг, Дж. Пеграм, Дж. Финк и Д. Митчелл вместе с Э. Сегре сконструировала и запустила механический прерыватель (селектор скоростей) для медленных нейтронов, который сегодня представляет собой, как правило, вращающийся вокруг своей оси полнотелый цилиндр из поглощающего нейтроны материала с вырезанным каналом или поглощающий нейтроны диск с вырезанным сектором [4].

М. И. Певзнер – ученый, который первым использовал прерыватель нейтронного пучка в Институте атомной энергии (ИАЭ). По его инициативе в 1944 г. создан первый механический селектор с одноканальным временным анализатором, который выполнен из набора кадмievых пластин по типу, предложенному в то время Э. Ферми, позволяющий выделять монохроматический пучок нейтронов (имеющих одну длину волны). Эти работы положили начало нейтронной спектроскопии, где используются волновые свойства нейтронов. Непрерывный поток нейтронов с помощью селектора разделяется на периодические импульсные пучки нейтронов. Дальнейшее разделение нейтронов по длинам волн достигается применением нескольких длинных каналов нейтроноводов (длиной до 200 м, иногда (ИБР-30) до 1000 м). Нейтроны с большей длиной волны движутся с меньшей скоростью и достигают исследуемого образца позже. Пучок нейтронов растягивается и может разделяться по длинам волн в зависимости от времени пролета. Импульсные пучки нейтронов формировались начиная с самых первых ядерных реакторов [20].

Исследовательские источники непрерывного потока нейтронов реакторного типа создаются на основе ядерных реакторов и формируют непрерывный поток нейтронов, как и первые реакторы. Недостатком формирования импульсных пучков из непрерывного потока нейтронов от реактора является потеря более 90% нейтронов. Однако такой путь получения нейтронных пучков до сих пор является удобным и оправданным, поскольку сохраняет возможность одновременного использования непрерывного потока нейтронов в других каналах выполнять производство изотопов, облучение материалов, накопление ультрахолодных нейтронов, используя монохроматические селекторы.

Идея об источниках нейтронов на основе пульсирующего реактора выдвинута в 1955 г. Д.И. Блохинцевым, ставшим в 1956 г. директором только что образованного в Дубне

Международного центра ядерных исследований (впоследствии Объединенного института ядерных исследований – ОИЯИ). Идея основана на первом в мире импульсном реакторе, построенном в одной из Лос-Аламосских лабораторий США. На экспериментах, проведенных в январе 1945 г. физиком Отто Фришем с сотрудниками, впервые получена контролируемая вспышка мгновенных нейтронов за счет сближения на короткое время двух кусков урана-235, один из которых падал с шестиметровой высоты по специальным направляющим и с большой скоростью пролетал мимо второго, имеющего специальное открытое отверстие. В известном смысле О. Фриш дразнил атомную бомбу. Установка «Дракон» проработала всего 3,5 недели, за которые было произведено 537 успешных вспышек [13].

Через четыре года идея Д.И. Блохинцева силами Физико-энергетического института имени А.И. Лейпунского (ФЭИ) и ОИЯИ проект был выполнен. Реактор построили в Лаборатории нейтронной физики (ЛНФ) ОИЯИ под руководством академика И.М. Франка. Первый в мире специализированный импульсный (пучковый) ядерный реактор нейтронов, теория создания которого разработана в 1956 г. И. И. Бондаренко и Ю. Я. Стависским, был запущен 23 июня 1960 г. С этого времени начинается современный этап развития нейтронной физики. Это был первый в мире пульсирующий реактор, названный ИБР (Импульсный Быстрый Реактор). Весьма полезными для изучения свойств нейтрона оказались ультрахолодные нейтроны, открытые экспериментально в 1968 г. в Дубне, они позволили провести наиболее точные измерения времени жизни нейтрона. Исследования различных веществ с помощью рассеяния нейтронов оказались настолько информативными и существенными, что со второй половины 60-х гг. в научных центрах мира начали создавать источники нейтронов, уже специально ориентированные на пучковые эксперименты на основе реакторов [18].

После успеха Дубны многие пытались реализовать принцип ИБР для создания пульсирующего реактора большей мощности, но отказывались, сталкиваясь с радиационно-опасными техническими трудностями. Удачное решение нашли только ученые ОИЯИ, и Россия является единственной в мире страной, предложившей, реализовавшей и развивающей идею пульсирующих реакторов. Не прекращая работу ИБР-30, буквально в нескольких шагах строился новый, в 500 раз более мощный источник нейтронов реактор ИБР-2 средней мощностью 2 Мвт (1000 Мвт в импульсе), запущенный 10 февраля 1984 г. Столь высокая мощность обеспечивалась введением системы охлаждения реактора на

основе натриевого теплоносителя и врачающимися никелевыми отражателями, формирующими при прохождении мимо реактора цепную реакцию и периодические импульсы выброса пучка нейtronов длительностью до 4 микросекунд с частотой повторения импульсов 50 Гц. После успешной 20-летней работы и выработки ресурса важных частей, 25 декабря 2006 г. ИБР-2 остановили и перевели в режим модернизации.

Эксплуатация этих реакторов стала основой для исследований в области физики конденсированных сред, материаловедения и биологии, а их развитие способствовало созданию уникальных нейтронных источников, таких как модернизированный ИБР-2М [3]. За несколько лет на той же площади специалисты ОИЯИ создали по существу новый пульсирующий реактор периодического действия ИБР-2М, не уступающий мировым существующим источникам нейtronов по генерации пучка тепловых нейtronов в импульсе, составляющем мощность до 2000 Мвт (более  $10^{16}$  нейtronов на  $\text{см}^2$  за секунду) при длительности 250 мкс и частотой повторения импульсов 5 Гц. И сейчас ИБР-2М остается одним из самых интенсивных источников нейtronов, при этом экономичной и относительно дешевой машиной.

### **Перспектива развития источников нейtronов**

Научный интерес к нейтронным исследованиям стремительно нарастает. Расширяются разделы наук, где используются нейтронные исследования. Современная тенденция состоит в расширении исследований, связанных с биологией, медициной, экологией, науками о Земле, что означает рост потребностей в нейтронных исследованиях и новых материалах. Для новых исследований требуются все более интенсивные источники нейtronов. Высокие интенсивности нейтронных потоков позволяют решить очень многие задачи физики твердого тела и ряд фундаментальных проблем ядерной физики.

С начала 1990-х гг. строительство новых реакторных источников нейtronов остановлено и, в силу выработки ресурса, их число неуклонно уменьшается. В то же время наблюдается значительный прогресс в ускорительной технике, которая имеет большие перспективы. В первую очередь это связано с тем, что нет каких-либо весомых преимуществ реакторов перед ускорителями.

Однако главная проблема заключается в отрицательном отношении общественности к любым системам, содержащим делящиеся материалы. Поэтому следующий этап в создании интенсивных источников нейtronов связан с использованием ускорителей с энергиями протонов, измеряемыми многими ГэВ, несмотря на их высокую стоимость. Для

создания таких источников будут создаваться коллективные центры, объединяющие группы стран. Сегодня ожидаемы как совершенствование существующих источников нейтронов, так и поисковые исследования создания лазерных и плазменных источников. Наконец, логика развития источников нейтронов должна привести к более эффективным бустерам с делящимся веществом.

**Библиографический список:**

1. Адамский В.Б. Сверхмощные ядерные взрывы в США и ССР как проявление научно-технической и государственной политики в годы холодной войны / В.Б. Адамский, Ю.Н. Смирнов, Ю.А. Трутнев // История советского атомного проекта. Документы. Воспоминания. Исследования. Выпуск 2; под ред. В.П. Визгина. СПб: РХГИ, 2002. С. 163-183
2. Аксенов В.Л. Нейтронная физика на пороге XXI века // Физика элементарных частиц и атомного ядра. Т. 31, № 6. 2000. С. 1303-1342.
3. Аксенов В.Л. Пульсирующий ядерный реактор ИБР-2М // Наука в России. №1. 2011. С. 20-24.
4. Амальди Э. Воспоминание об исследованиях искусственной радиоактивности и свойств нейтрона, проводившихся в Римском университете в 1934–1936 гг. // Нейtron. Предыстория. Открытие. Последствия. М.: Наука. 1975. С. 23-52.
5. Астафьева Е. Атомная бомба Гитлера [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Дилетант – исторический журнал для всех». Режим доступа: <https://diletant.media/articles/38267239/> (дата обращения: 01.10.2025).
6. Атомный проект СССР: документы и материалы: [в 3 т.] / Под общ. ред. Л.Д. Рябева; Т. 1. 1938-1945. Часть 1. М.: Наука. Физматлит, 1998. 423 с.
7. Барковский Владимир Борисович // Сайт службы внешней разведки Российской Федерации. Режим доступа: <http://www.svr.gov.ru/history/person/bar.htm> (дата обращения: 01.10.2025).
8. Ган О. О доказательстве существования и свойствах щелочноземельных металлов, возникающих при облучении урана нейтронами. (перевод) / О. Ган, Ф. Штассман // Нейtron. Предыстория, открытие, последствия. М.: Наука. 1975. С. 162-164.
9. Губарев В.С. Белый архипелаг. Несколько малоизвестных страниц из истории создания а-бомбы // Наука и жизнь. №7. 2000. С. 27-32.

10. Долгополов Н. Атомная бомба в коробке с салфетками // Родина. 2024. №9. С. 62-67.
11. Иойрыш А.И. К. А-бомба / А.И. Иойрыш, И.Д. Морохов, С.К. Иванов. М.: Наука, 1980. 424 с.
12. Кузнецов В. Немцы в советском атомном проекте-2 [Электронный ресурс] // Ежедневное интерактивное издание «Завтра.ру». Режим доступа: <https://zavtra.ru/blogs/nemtsyi-v-sovetsknom-atomnom-proekte-2> (дата обращения: 01.10.2025).
13. Ломидзе В.Л. Импульсные ядерные реакторы. М.: Знание, 1982. 64 с.
14. Майтнер Л. Расщепление урана нейтронами: новый тип ядерной реакции / Л. Майтнер, О. Фриш; Пер. В. Я. Френкеля // Нейтрон. К пятидесятилетию открытия. М.: Наука, 1983. С. 302-305.
15. Медведь А.Н. К истории создания первой отечественной ядерной бомбы // журнал «Двигатель». 2009. № 4(64). С. 62.
16. Медведь А.Н. К истории создания первой отечественной ядерной бомбы // Двигатель. 2009. №3 (63). С. 58.
17. Мелешина Д. Воспоминания электростальцев о немецких специалистах, которые работали в Атомном проекте в Электростали, Богородск-Ногинск [Электронный ресурс] // Богородское краеведение. Режим доступа: <https://www.bogorodsk-noginsk.ru/articles/vospominaniya-elektrostalcev-o-nemeckix-specialistax-kotorye-rabotali-v-atomnom-proekte-v-elektrostali.html> (дата обращения: 01.10.2025).
18. Франк А.И. Фундаментальные свойства нейтрона // Успехи физических наук. 1982. Т. 137, № 1. С. 6-37.
19. Фукс Клаус [Электронный ресурс] // Сайт службы внешней разведки Российской Федерации. Режим доступа: <http://www.svr.gov.ru/history/person/fx.htm> (дата обращения: 01.10.2025).
20. Шабалин Е.П. Современные высокоинтенсивные импульсные источники нейтронов // Нейтрон: К пятидесятилетию открытия. М.: Наука, 1983. С. 209-225.
21. Яцишина Е.Б. Физический первый: 75 лет первому в Евразии ядерному реактору Ф-1 (интервью кор. Янина Хужина) // В мире науки: Атомная энергетика. 2021. №12. С. 70-79.

22. 50 лет любви супругов-шпионов, укравших атомную бомбу для СССР: Леонтина и Моррис Коэн [Электронный ресурс] // Культурология.ру. Режим доступа: <https://kulturologia.ru/blogs/020522/53197/> (дата обращения: 01.10.2025).

**Kolesnikov A.G. Neutron Physics: Genesis and Prospects of Development (Part 2)**

The history of neutron physics is revealed, covering the period from the prerequisites of its emergence to the present day. The formation of neutron physics as an independent discipline was influenced not only by the scientific laws of development, but also by the phenomenon of a special research spirit possessed by individual scientists. The most important events that influenced the theoretical shifts in neutron physics in the 20th century are highlighted. The conclusion is made about the possible prospects of its further development in the 21st century.

**Keywords:** atomic physics, molecular physics, nuclear physics, radioactivity, radioactive decay, nuclear technology, nuclear (atomic) energy, nuclear industry, applied nuclear physics.