

УДК 539.16

А.Г. Колесников

Нейтронная физика: генезис и перспективы развития (Часть I)

Аннотация:

Раскрыта история нейтронной физики, охватывающая период от предпосылок ее возникновения до современных дней. Сделан вывод о том, что на формирование нейтронной физики как самостоятельной дисциплины оказали влияние не только научные законы развития, но и феномен особого исследовательского духа, которым наделены отдельные ученые.

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

В марте 2025 г. исполнилось 129 лет открытию радиоактивности – начала новой эпохи развития человечества, ознаменовавшей старт бурных открытий о строении материи. Знаменитый российский ученый Владимир Иванович Вернадский, посвятивший изучению радиоактивности часть своей жизни, писал: «Это открытие произвело огромный переворот в научном мировоззрении, вызвало создание новой науки ... открыло горизонты возможностей, совершенно неожиданных и, казалось, навсегда для человечества закрытых» [1, с. 198].

Случай в эксперименте – источник открытий

Поздней осенью 1895 г. немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген проводил эксперименты с катодными лучами, открытыми в 1859 г. его соотечественником Юлиусом

Плюккером. Физики того времени с увлечением изучали светящиеся лучи, исходящие от катода газоразрядной трубки, прародительницы будущего кинескопа телевизора.

Рентген собрал очередную конструкцию газоразрядной трубки, в которой катод оказался наклонен. 8 ноября 1895 г., как обычно, Рентген допоздна работал в своей лаборатории. Уходя, он затушил лампу и вдруг в темноте увидел легкое зеленоватое свечение. Светилось вещество в баночке, реагирующее на электромагнитные волны [12]. Рентген сообразил, что забыл выключить катодную трубку, хотя и накрыл ее черным чехлом из картона. Он отключил трубку – свечение исчезло, снова включил – появилось. Однако катодные лучи должны были задерживаться стеклом трубки и чехлом из бумаги, и, кроме того, воздушный метровый промежуток между трубкой и экраном был для них совершенно непроницаем. Семь недель Рентген провел за опытами, приказав приносить ему еду в лабораторию и поставить там кровать. Было забыто все: и ученики, и друзья, и семья, и даже здоровье. Лишь через 50 дней ученый наконец-то смог сформулировать принципы того явления, которое он открыл.

22 декабря 1895 г. В. Рентген сделал первое публичное сообщение об открытии неизвестного излучения, которое он назвал X-лучи и опубликовал статью под названием «О новом типе лучей», где разместил первый рентгеновский снимок левой кисти руки своей жены Берты. Статья была выпущена в виде отдельной брошюры, и В. Рентген разослал ее ведущим физикам Европы. Так началась новая эра в истории медицины и других отраслей науки и техники – эпоха исследования объекта при помощи рентгеновских лучей.

Объяснения природы X-лучей не было, поскольку научное сообщество того времени считало, что атом неделимый и невозможно было допустить существование известных сейчас электронов. Рентгену не раз пришлось доказывать, что открытые им лучи существуют реально. 23 января 1896 г. Рентген лично продемонстрировал возможности лучей, сделав снимок кисти руки с кольцом присутствующего тут же анатома Альберта фон Келликера. Это сообщение было подобно взрыву. На имя Рентгена посыпались письма от промышленных фирм с предложениями о выгодной покупке прав на использование изобретения. Однако он считал, что научные исследования должны быть достоянием человечества и не могут являться источником дохода. В. Рентген даже возражал, чтобы открытые им лучи назывались рентгеновскими.

Открытие вдохновило многих физиков в крупных научных центрах различных стран на исследование свойств рентгеновского излучения. Австрийский физик Иван Павлович

Пулюй обнаружил, что сконструированная им «лампа» также оказалась источником X-лучей. Пулюй провел пионерские исследования по изучению катодных лучей, создал разнообразные источники X-излучения и активно содействовал их внедрению в диагностическую медицину [7]. В 1986 г. в Санкт-Петербургском и Московском университетах началось изучение метода рентгенологии. В результате усилий обоих университетов в 1904 г. осуществлена рентгенологическая визуализация почек, а в 1918 г. в Санкт-Петербурге открыт первый в мире рентгенологический, радиологический и раковый институт.

Открытие Рентгена привело к другому открытию, появление которого также оказывается удачным стечением обстоятельств. История его началась 20 января 1896 г., когда на заседании Парижской академии с докладом о рентгеновских лучах и их демонстрацией выступил известный ученый-физик и математик А. Пуанкаре с попыткой объяснения природы X-лучей. В ходе доклада он высказал предположение о том, что рентгеновское излучение может быть каким-то образом связано с люминесценцией. Это гипотеза всецело захватила присутствовавшего на заседании опытного специалиста в области люминесценции Анри Беккереля [8].

Анри Антуан Беккерель – представитель большой династии французских физиков. Его дед, Антуан Сезар Беккерель – ученый в области флуоресценции, а отец, Александр Эдмон Беккерель – был крупным специалистом по исследованию фосфоресценции. Беккерель решил незамедлительно проверить эту гипотезу экспериментально, поскольку, если гипотеза Пуанкаре подтвердится, то рентгеновские лучи станут возможным получать без использования высоковакуумных трубок, требующих источники питания в десятки киловольт [4].

Беккерелю повезло с выбором образца: он был руководителем кафедры физики Национального музея естественной истории, поэтому в его распоряжении была коллекция люминесцирующих минералов, и он выбрал минерал с большой интенсивностью люминесценции – уранил-калиевый бисульфат. Везение состояло в том, что из девяти известных в то время химических элементов только уран и торий, а также их соли обладают радиоактивностью, достаточной для ее обнаружения простыми способами.

Конечно же, Беккерель об этих свойствах не знал, но его интуиция физика заслуживает одобрения. В качестве детектора, фиксирующего излучение, им была использована обычная фотопластинка, изобретенная за 30 лет до этого лейтенантом

Парижской муниципальной гвардии Абель Ньепсом де Сен-Виктором, большим любителем фотографии. Опыт Беккереля выглядел весьма просто – флуоресцирующий образец укладывался на фотопластинку, предварительно тщательно обернутую черной, непроницаемой для света бумагой, и вся эта конструкция выставлялась на несколько часов на солнечный свет. После этого фотопластинка проявлялась, и на ней был виден отпечаток контуров кристаллов и различных предметов, покрытых урановой солью.

Опытный исследователь Беккерель в ходе своих опытов стремился исключить любые побочные воздействия на фотопластинку. Доказывая справедливость гипотезы Пуанкаре, засветку фотопластинки Беккерель объяснял как Рентгеновские лучи, хотя не мог объяснить, почему длины волн этого сильно проникающего через плотную бумагу излучения многократно меньше, чем длина световых волн, что противоречило правилу Стокса. Следует отметить, что аналогичные опыты практически одновременно с Беккерелем проводились и другими учеными, в том числе и на других солях. Помог случай, а именно дождливая погода, когда отложенный для засветки на солнце образец пролежал несколько дней, ожидая солнечной погоды, и по ошибке был проявлен без выдержки на солнце. Результат – пластинка была засвечена и на ней также был виден отпечаток образца. Это навело на мысль, что этот эффект не фотолюминесценция.

Дальнейшие тщательные опыты, проведенные Беккерелем теперь уже целенаправленно, подтвердили эту догадку, и привели к выдающемуся открытию, о котором 2 марта 1896 г. на заседании Парижской академии наук он сделал сообщение «О невидимой радиации, производимой фосфоресцирующими телами», что считается датой открытия радиоактивности [2]. Новое излучение сначала получило название «урановые лучи», а затем – «лучи Беккереля». Лучи оказывают весьма заметное воздействие на различные тела. Так, стекло под действием излучения может окрашиваться в фиолетовый или в желтый цвета, покрываясь при этом мелкими трещинами; белый фосфор превращается в красный; бумага и целлулоид становятся желтыми; в воздухе образуется озон и т. д. В течение всего 1896 г. Беккерель в девяти статьях описал основные свойства обнаруженного излучения и, главное из них – непрекращающуюся продолжительность излучения. При этом невозможно было объяснить, откуда берется неисчерпаемый запас энергии в солях урана. На этот вопрос не смогли ответить и те выдающиеся ученые, которые подробно ознакомились с результатами его работ и побывали в лаборатории Беккереля: Пуанкаре, Рамзай, Стокс, Кельвин, Менделеев.

И опять случай. Исследованием удивительных «лучей Беккереля» А. Беккерель поручил заняться своим ученикам Пьеру Кюри и Марии Склодовской-Кюри, приехавших в Париж. Для исследования супруги Кюри выбрали ураново-смоляную руду, которая добывалась в 1890-х гг. на территории Чехии для изготовления ярко красных красок для окрашивания изделий на фарфоровых и стекольных заводах. Но из-за высокой цены Мария предложила купить не саму руду, а несколько тонн отходов, образующихся при выделении урана из руды, стоивших сущие пустяки. Супруги поставили перед собой задачу разделить эту урановую смоляную обманку на химические компоненты. Содержание урана в отходах было мизерным. Как теперь понятно, стечение обстоятельств положило основу технологии получения новых элементов. По сути Кюри использовали руду с малым содержанием урана, но обогащенную другими элементами.

Супруги провели множество трудоемких и, как потом оказалось, опасных для здоровья экспериментов [5]. Для выделения химических компонентов эти тонны супруги перерабатывали в деревянном сарае на улице Ломон в Париже, который когда-то использовался как морг и анатомичка: вместо пола потрескавшийся асфальт; застекленная крыша в дождливые дни протекала; летом в сарае было жарко и душно, словно в оранжерее, зимой – холодно, как в леднике [8]. За 4 года они вручную переработали 8 тонн урановой смолки, получив после трудоемких операций небольшое количество вещества, обладавшего излучением лучей «Беккереля» в два миллиона раз сильнее, чем от урана. Исследования показали, что выделенное вещество содержит два неизвестных элемента. Источник этой радиоактивности они выделили в виде бариевых солей новых химических элементов.

В июле 1898 г. Кюри сообщили об открытии нового химического элемента, который они назвали «Polonium», в честь родины Марии Склодовской-Кюри – Польши. Выделить в чистом виде этот элемент не удалось из-за короткого времени жизни (138 суток). В декабре 1898 г. Кюри объявили об открытии второго элемента, который назвали «Radium» – лучистый. Его удалось выделить и определить атомную массу. Убедившись, что не только уран излучает «лучи Беккереля», Мария Склодовская-Кюри предложила это излучение назвать «радиоактивностью» от латинских «radus» – луч и «activus» – действенный.

Весомый вклад в изучении радиоактивности внес известный английский физик Эрнест Резерфорд, активно включившийся в этот процесс. В 1899 г., пропуская радиоактивные лучи радия между полюсами магнита, он разделил пучок радиоактивных

лучей на два пучка – альфа- и бета-лучи. В 1900 г. французский физик Поль Виллард открыл, что излучение радия содержит третий вид слабого излучения, которое не смог обнаружить Резерфорд – гамма-лучи. В 1901 г. уже и сам Беккерель обнаружил гамма-лучи и ему стало ясно, что радиоактивность – самопроизвольное испускание так называемых альфа-, бета- и гамма- лучей.

Это был очередной научный взрыв, вызвавший огромный интерес к практическому применению открытия. Первые успехи в лечении раковых опухолей посредством радиации породили всеобщий ажиотаж: публика увидела в радиии источник вечной жизни. Выпускались пищевые продукты, косметика и даже часы со светящимся циферблатом. Стоимость радия в то время превышала стоимость золота в сто тысяч раз – он был самым дорогим элементом в мире.

Радий – элемент, встречающийся в природе крайне редко. Чтобы получить 0,1 г чистого металлического радия, Кюри перерабатывали 500 кг уранита. Посыпались предложения коммерческого использования радия, патентования технологии его получения. Несмотря на то, что Кюри жили бедно и нехватка средств сказывалась и на их исследованиях, они решительно отказались от патента, который лишил их немалой прибыли. По их убеждению, это противоречило бы духу науки – свободному обмену знаниями.

Желание расширить масштабы научных исследований приводит Марию Кюри к решению о создании Института радия, который был открыт перед самой первой мировой войной. Для его функционирования М. Кюри отдает накопившийся у нее 1 г собственноручно добытого радия на нужды института и медицины. Во Франции этот метод назывался кюриотерапией.

В России начало радиотерапии также положила М. Кюри. В 1903 г. она передала Владимиру Зыкову, директору будущего Московского НИИ онкологии им. Герцена, несколько миллиграммов радия, и именно с них началась российская лучевая терапия, которая по большому счету с тех пор не изменилась.

К сожалению, первоначально не было известно о вредоносном биологическом действии радиоактивного излучения. Ценою жизней обнаружилось, что вредоносность здоровью неизменно проявлялась у всех, кто имел контакт с радиоактивными препаратами. Ажиотаж вокруг «источника вечной жизни» существовал до той поры, когда начались вспышки лучевой болезни. Сама Мария Кюри скончалась от лейкемии, вызванной

работами по получению радия и полония. Похоронили ее с особыми предосторожностями с применением свинцовой обшивки гроба. Ее книги, дневники и письма хранятся в свинцовых коробках в национальной библиотеке Парижа. И должны так храниться 150 лет – период полураспада радия. А на одном из листков даже был обнаружен радиоактивный отпечаток пальца ее мужа Пьера. А. Беккерель, всю жизнь занимавшийся радиоактивными веществами, умер в возрасте 55 лет от неизвестной болезни.

За 60 лет, прошедших после открытия радиоактивности, от лучевого рака кожи и лейкемии умерло 369 специалистов-радиологов. И тем не менее, зная о вредных последствиях работы с радиоактивными веществами, ученые продолжали и продолжают исследования, открывая все новые и новые их свойства.

Разрыв – источник развития

Основы представления об атоме как о неделимой, неразрушающейся и не возникающей из ниоткуда основной частице вещества заложил древнегреческий философ Демокрит еще в V-IV вв. до нашей эры. А в 1808 г. Джон Дальтон, английский естествоиспытатель, первым научно описавший имеющуюся у него «цветовую слепоту», позже названную в его честь дальтонизмом, разработал атомизм, ввел понятие «атомный вес», первым рассчитал атомные веса (массы) ряда элементов и составил первую таблицу их относительных атомных весов, заложив тем самым основу атомной теории строения вещества, которая очень хорошо описывала известные химические реакции [10].

Развивая заложенную в таблице Дальтона идею размещения элементов, Дмитрий Иванович Менделеев в 1869 г. создал первый вариант Периодической системы химических элементов. Атомная теория Дальтона состояла из пяти основных постулатов, изложенных в первой части первого тома «Нового курса химической философии» (1808):

1) Вся материя состоит из крошечных неделимых частиц, называемых атомами. Все предметы, люди и другие живые существа, воздух – все это наборы огромного количества атомов.

2) Все атомы одного элемента обладают одинаковыми свойствами, в том числе одинаковой массой. Атомы разных элементов различаются по массе.

3) Атомы нельзя ни создать, ни уничтожить. Кроме того, атомы нельзя разделить на более мелкие частицы.

4) Атомы разных элементов могут соединяться друг с другом в определенных целых соотношениях, образуя соединения. Соединения – это комбинация атомов разных видов.

5) Химические реакции включают в себя реорганизацию атомов. В ходе химической реакции атомы не создаются и не уничтожаются. Химическая реакция – это перестановка атомов.

Открытие 1896 г. заложило начало этапа ломки атомистических взглядов. Стало ясно, что некоторые атомы могут быть радиоактивными, что означает существование более сложного строения атома. Это вызвало взрыв научного интереса к новому направлению исследований в поиске подтверждения или опровержения неделимости атома, которым с большим увлечением занялось большинство ученых мира.

В 1897 г. британский физик Джозеф Джон Томсон, выполнив немалое число экспериментов с электронно-лучевой трубкой собственной конструкции, собранной для исследования поведения катодных лучей в электрических и магнитных полях, доказал, что катодные лучи, считавшиеся электрическим током в газе, состоят из частиц с измеримой массой и зарядом, которые он назвал электронами. Неделимость атома была разрушена. С этого момента начался этап создания нового видения строения атома. Разрушение устаревшего стереотипа требовало такой модели строения атома, которая объясняла бы накопившиеся знания.

Такую попытку сделал Джозеф Томсон в 1904 г. [11]. Он предложил первую модель атома, впоследствии названную «сливовый пудинг с изюмом», в котором роль изюминок играют электроны. Однако, хлынувший интенсивный поток исследований давал результаты, часть которых не объяснялась моделью Д. Томсона.

Анализируя результаты экспериментов, в том числе собственных, Д. Резерфорд в 1911 г. разработал планетарную модель атома, состоящего из заряженного ядра с электронами, двигающимися вокруг него по замкнутым орбитам, доработанную в 1913 г. Нильсом Бором, который ввел квантовые состояния орбит электронов. Предложенная модель объясняла большинство экспериментов. Для полной картины необходимо было объяснить строение ядра атома.

Научная мысль развивалась, зачастую опережая эксперименты, словно проявляясь под воздействием какой-то неведомой силы, связанной с духовной творческой энергией человека. Так, в ставшей знаменитой Бейкеровской лекции 3 июня 1920 г. «Ядерное строение атомов» («Nuclear Constitution of Atoms») Резерфорд развил свои ранние идеи. Он предположил, что «при некоторых условиях электрон может гораздо теснее соединяться с ядром, образуя своего рода нейтральный дублет (*neutral doublet*)» из протона и электрона

[8]. Бета-радиоактивность, открытая Резерфордом в 1899 г., вполне определенно указывала на наличие электронов внутри атомных ядер. Хотя слово «нейтрон» произнесено Резерфордом не было, лекция дала толчок экспериментальным поискам существования нейтральной частицы.

Еще одним проявлением духовной творческой силы, опередившей время, стала выдвинутая в 1924 г. гипотеза французского физика Луи де Бройля о корпускулярно-волновом дуализме, присущем всем без исключения видам материи: электронам, протонам, атомам. Длина этой волны λ должна выражаться через импульс p следующим образом: $\lambda = h/p$, где h представляет собой универсальную физическую постоянную, названную постоянной Планка. Это было гениальное предвидение. Интенсивные исследования увенчались успехом: в 1927 г. американские физики Клинтон Джозеф Дэвиссон и Лестер Хэлберт Джермер получили экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля о наличии волновых свойств на опытах с электронами, отраженными от кристалла никеля, а уже в 1928 г. – Джордж Томсон (сын Джозефа Томсона, открывшего электрон), наблюдая картину в виде колец при прохождении электронов сквозь тончайшую фольгу из золота.

В результате исследования радиоактивности было сформулировано большое число законов. Исследователи ставили самые разнообразные опыты с влиянием радиоактивных веществ на различные материалы. В результате исследований облучения бериллия альфа-лучами от источника полоний-210 (источник М. Склодовской-Кюри), которые в 1930 г. проводили немецкие физики Вальтер Боте и Герберт Беккер, было обнаружено, что бериллий испускает излучение, которое они сочли «имеющим характер гамма-лучей» [13; 9].

Боте и Беккер получили в своих опытах неизвестное излучения, названное «бериллиевыми лучами», с легкостью проникающими даже сквозь свинцовую пластину, которое сочли странными гамма-лучами, обладающими большой проникающей способностью. Регистрировали лучи с помощью счетчика Гейгера собственной конструкции. Аналогичное излучение обнаруживали и другие исследователи. Налицо наблюдалось формирование очередного разрыва, – начала этапа революционной ломки установившегося представления о составе радиоактивного излучения

Ирэн и Фредерик Жолио-Кюри (Ирэн – дочь прославленных физиков Пьера Кюри и Марии Склодовской-Кюри), заинтересовавшись особенностями бериллиевых лучей, в течение 1931–1932 гг. провели опыты с использованием камеры Вильсона, изучая их

взаимодействие с другими веществами. В результате они установили необычность «бериллиевых лучей». Уже была забыта Бейкеровская лекция Д. Резерфорда, взбудоражившая научный мир двенадцать лет назад. Известны были только три вида радиационного излучения: альфа-, бета- и гамма-излучения, которых было вполне достаточно для описания процессов радиоактивного взаимодействия. Сделав оценку энергии гамма-фотона, «выбивающего» протон, они получили чрезвычайно большую для безмассовой частицы величину – более 10^7 эВ. Оставалось неясным, откуда берется столь большая энергия фотонов, и почему, охотно передавая свою энергию протонам, «бериллиевые лучи» в то же время не желают взаимодействовать с атомами свинца.

Перед супругами встала дилемма: либо признать себя экспериментаторами и просто установить факт, либо признать, что это принципиально новое явление, отрицающее все известное, либо же согласиться с тем, что бериллиевое излучение является особым видом гамма-излучения. Они выбрали третий вариант и в статье от 11 января 1932 г., разосланной многим крупным физикам мира, Ирен и Фредерик Жолио-Кюри сообщили, что излучение Боте-Беккера представляет собой жесткое электромагнитное гамма-излучение, но с оговоркой, что общепринятые законы механики (принцип сохранения энергии и количества движения) не допускают этого.

В январе 1932 г., вероятно, не существовало другого физика в мире, который мог бы, еще не поставив собственных опытов, настаивать на совершенно ином истолковании бериллиевого излучения, кроме Джеймса Чедвика. Прочитав статью парижан, он был потрясен. Чедвик поспешил сообщить Резерфорду, который сказал: «Наблюдениям верю. Объяснению – нет. Что-то тут не так» [3]. Чедвик тоже сомневался в истолковании наблюдений, поэтому немедленно подготовил проверку. Впоследствии Чедвик признавался: «Мои мысли, естественно, вертелись вокруг нейтронов». Чедвик, как ученик Резерфорда, находился под влиянием учителя, он давно и основательно проникся идеей «нейтрона», искал нейтроны и ожидал встретить их в любом новом излучении.

Чедвик понимал, что нужны веские доказательства. Но, как говорят американцы: «Удача падает в руки только подготовленных людей». Он повторил опыты Жолио-Кюри, внеся в них существенные дополнения. Для измерения энергии «ядер отдачи», вылетающих под воздействием бериллиевых лучей из разных мишеней, выполненных на основе различных материалов, Чедвик воспользовался специально построенной импульсной ионизационной камерой с усилителем и осциллографом. Измеряя величину наблюдаемого

на осциллографе импульса, Чедвик определял энергию различных ядер отдачи (протонов, ядер азота и др.). Исходя из закона сохранения энергии и импульса, он пришел к выводу: бериллиевые лучи или излучение, возникающее при бомбардировке бериллия альфа-излучением от полония-210, есть не что иное, как поток нейтральных частиц. Чедвик, применяя закон сохранения импульса, определил массу нейтрона, которая оказалась практически равной массе протона.

27 февраля 1932 г. (то есть спустя всего лишь месяц после опубликования работы Жолио-Кюри) появляется краткое сообщение Чедвика «Возможность существования нейтрона». 12-летняя погоня за призраком, блуждавшим в стенах Кавендишской лаборатории, завершилась удачей. Появилась недостающая частица в строении атома – нейтрон, который образует один из строительных кирпичей, из которых состоят атомы и молекулы, а значит, и вся материальная Вселенная. Планетарная модель атома, предложенная Резерфордом, подтвердилась.

Если до открытия нейтрона научные исследования радиоактивности приписывали к химии, то с открытием нейтрона появляется новый раздел науки – ядерная физика.

С этого момента происходит взрыв научного интереса к широчайшему спектру задач, связанных с устройством ядра и с процессами ядерных взаимодействий. Итальянский физик Энрико Ферми в результате экспериментов по изучению нейтронов в 1934 г. положил начало нейтронной физике, обнаружив возможность замедления нейтронов ядрами легких элементов, что приводило к усилению реакций искусственной радиоактивности. В новом направлении науки предметом исследований стал сам нейтрон и применение нейтронного излучения. С 1934 г. обсуждалось наличие магнитного момента нейтрона, измеренного в 1939 г. За период десятка последующих лет стало известно о распаде нейтрона на протон и электрон, о волновых свойствах нейтрона и его квантовых характеристиках. Сегодня явления преломления нейтронной волны стали использовать не только для построения нейтронных зеркал, но и для изготовления линз и призм.

Продолжение в следующем номере журнала.

Библиографический список:

1. Вернадский В.И. Избранные труды по истории науки. М.: Наука, 1981. 356 с.
2. Голубь П.Д. Из жизни творцов физической науки / П.Д. Голубь, А.В. Овчаров, А.Д. Насонов. Барнаул: Изд. АлтГПУ, 2017, 359 с.

3. Еманова М.В. Джеймс Чедвик. Открытие нейтрона [Электронный ресурс] // АТОМ. Режим доступа: <http://book.sarov.ru/wp-content/uploads/2021/04/Atom-86-2020-7.pdf> (дата обращения: 29.09.2025).
4. Капустинская К. А. Анри Беккерель. М.: Атомиздат, 1965. 83 с.
5. Кюри М. Радиоактивность. М.: Изд. физико-математической литературы, 1960. 516 с.
6. Кюри М. Пьер Кюри. М.: Наука, 1968. 176 с.
7. Овчаров А.В. Из истории открытия радиоактивности / А.В. Овчаров, П.Д. Голубь // Наука и Школа. 2021. № 3. С. 226-234.
8. Мамедов Г.М. К 125 летию открытия рентгеновских лучей // На пути к открытию Х-лучей // Биомедицина (Баку). 2020. № 18(2). С. 27-29.
9. Рычин В. Нейтрону – 90 лет [Электронный ресурс] // Atominfo. Режим доступа: <http://www.atominfo.ru/newsz04/a0967.htm> (дата обращения: 01.10.2025).
10. Тарасов Л. Открытие нейтрона // Квант. 1979. №5. С. 8-14.
11. Этот день в истории: 1895 год — Рентген поведал миру об открытых им лучах [Электронный ресурс] // ЕА Daily. Режим доступа: <https://eadaaily.com/ru/news/2019/12/28/etot-den-v-istorii-1895-god-rentgen-povedal-miru-ob-otkrytyh-im-luchah> (дата обращения: 29.09.2025).
12. Patterson E. John Dalton and the atomic theory: the biography of a natural philosopher. N.Y.: Doubleday, 1970. 400 p.
13. Thomson J. On the Structure of the Atom: an Investigation of the Stability and Periods of Oscillation of a number of Corpuscles arranged at equal intervals around the Circumference of a Circle; with Application of the Results to the Theory of Atomic Structure // Philosophical Magazine Series 6: journal. 1904. Vol. 7, No. 39. P. 237.

Kolesnikov A.G. Neutron Physics: genesis and development prospects (Part I)

The history of neutron physics is revealed, covering the period from the prerequisites of its origin to the present day. It is concluded that 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 that individual scientists are endowed with.

Keywords: atomic physics, molecular physics, nuclear physics, radioactivity, radioactive decay, nuclear engineering, nuclear (atomic) power engineering, nuclear industry, applied nuclear physics.