

УДК 529(091)
ББК 22.383.3г

DOI: 10.31862/1819-463X-2021-3-226-234

ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ

А. В. Овчаров, П. Д. Голубь

Аннотация. Статья посвящена юбилейной дате – 125-летию со дня открытия радиоактивности. Авторами подобран, проанализирован и систематизирован обширный материал, относящийся к данной теме. Описана ситуация в физической науке, предшествующая и способствующая этому открытию. Оценен вклад известных ученых-физиков, посвятивших свою деятельность исследованию данного явления. Отмечено влияние учения о радиоактивности на дальнейшее развитие физической науки. Показано, что открытие радиоактивности положило начало новой эпохи в физической науке.

Ключевые слова: радиоактивность, А. Беккерель, Мария и Пьер Кюри, Э. Резерфорд.

FROM THE HISTORY OF THE DISCOVERY OF RADIOACTIVITY

A. V. Ovcharov, P. D. Golub

Abstract. The article is dedicated to the anniversary date – the 125th anniversary of the discovery of radioactivity. The authors have selected, analyzed and systematized extensive material related to this topic. The situation in physical science, preceding and contributing to this discovery, is described. The contribution of famous physicists who have devoted their activities to the study of this phenomenon is assessed. The influence of the doctrine of radioactivity on the further development of physical science is noted. It is shown that the discovery of radioactivity marked the beginning of a new era in physical science.

Keywords: radioactivity, A. Becquerel, Maria and Pierre Curie, E. Rutherford.

© Овчаров А. В., Голубь П. Д., 2021

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

В 2021 г. исполняется 125 лет со дня открытия одного из интереснейших явлений природы – радиоактивности. Это открытие датируется 2 марта 1896 г., а его автором является представитель большой династии французских физиков Анри Антуан Беккерель. Его дед Антуан Сезар Беккерель – ученый в области флуоресценции с 1838 г. являлся президентом Парижской академии наук. Отец – Александр Эдмон Беккерель был крупным специалистом по исследованию фосфоресценции и также избирался президентом той же академии (с 1880). И наконец, сам Анри Беккерель в конце своей жизни (1908) был избран президентом этой академии. Таким образом, на протяжении 70 лет вся французская наука управлялась династией Беккерелей [1].

Предыстория открытия радиоактивности довольно интересна историкам физики и не только. Конец XIX в. ознаменовался целой чередой великих открытий – фотоэффект, законы теплового излучения, рентгеновские лучи, радиоактивность, электрон, квантовая теория. С особым интересом и вниманием ученый мир воспринял известие об открытии немецким физиком В. Рентгеном нового вида лучей, получивших название «рентгеновские лучи». Это открытие, свершившееся в самом конце 1895 г. и так восхитившее физиков, вдохновило многих из них на исследование свойств рентгеновского излучения в крупных научных центрах различных стран.

Не осталась в стороне и Парижская академия наук. Уже 20 января 1896 г. на очередном заседании этой академии с докладом о рентгеновских лучах и их демонстрацией выступил известный ученый-физик и математик А. Пуанкаре. 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 уже опытного специалиста

в области люминесценции Анри Беккереля. Он решил незамедлительно проверить эту гипотезу экспериментально. Идею своих опытов он объяснил так: «В начале 1896 г. в тот самый день, когда в Париже стало известно об опытах Рентгена и о необычайных свойствах лучей, испускаемых фосфоресцирующими стенками кружковых трубок, я задумал исследовать, не испускает ли такие же лучи и всякое другое фосфоресцирующее вещество» [2].

Стремление Беккереля становится понятным, так как, если гипотеза Пуанкаре подтвердится, рентгеновские лучи станут возможным получать без использования высоковакуумных трубок, требующих к тому же источники питания в десятки киловольт. Кроме того, физики всегда пытались связать неизвестное явление с уже более понятным и изученным. Беккерелю повезло и с выбором образца, в качестве которого явился минерал с достаточно большой интенсивностью люминесценции – уранил-калиевый бисульфат. Везение состояло еще и в том, что из девяноста 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 как 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 обернутой 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

образца. В других опытах он покрывал урановой солью различные металлические предметы (ключ, монету, крест), и во всех случаях на проявленной фотопластинке после выдержки всей системы на солнце отчетливо отпечатывалось изображение предмета, посыпанного флуоресцирующей урановой солью.

Опытный исследователь Беккерель в ходе своих опытов стремился исключить любые побочные воздействия на фотопластинку. Например, он подозревал, что соль урана могла нагреваться на солнце и выделять какой-то газ, который мог бы просачиваться через складки черной бумаги к поверхности фотопластины и засвечивать ее. Чтобы избавиться от такого эффекта, Беккерель в специально сконструированной кассете разделял пластинку и урановый образец, прокладывая между ними лист стекла. И в этом случае результат был тот же – фотопластинка засвечивалась от фосфоресцирующего образца через стекло и бумагу.

Теперь можно было утверждать, что гипотеза Пуанкаре о связи люминесценции с рентгеновским излучением подтвердилась, что и сделал Беккерель 24 февраля 1896 г. на очередном заседании Парижской академии наук. В докладе «Об излучениях, производимых фосфоресценцией» он сообщал: «...Можно сделать вывод, что светящаяся соль испускает лучи, которые проникают через непрозрачную для света черную бумагу и восстанавливают серебряные соли в фотопластинке» [2].

Справедливости ради следует отметить, что аналогичные опыты практически одновременно с Беккерелем проводились и другими учеными. Так, в Англии этой проблемой занимался известный в то время ученый С. Томпсон, который экспериментировал с целым рядом фосфоресцирующих веществ, в том числе и отличных от солей урана. Он получил результаты, схожие с эффектами, наблюдаемыми Беккерелем, – некоторые

из исследованных им образцов после выдержки на солнце засвечивали фотопластинку, завернутую в светонепроницаемую бумагу. Свои результаты он также расценил как доказательство справедливости гипотезы Пуанкаре. Однако он не спешил опубликовать свои выводы, поскольку не мог объяснить, почему длины волн этого сильно проникающего излучения многократно меньше, чем длина световых волн. Это противоречило правилу Стокса, согласно которому длина волны фосфоресценции должна быть больше длины волны излучения, ее вызывающего.

Во Франции в феврале все того же 1896 г. (то есть одновременно с Беккерелем) появились еще два сообщения о регистрации рентгеновских лучей, излучаемых флуоресцирующими веществами. Биофизик по роду деятельности академик Шарль Анри утверждал, что обнаружил рентгеновское излучение, сопровождающее флуоресценцию сернистого цинка, а математик Болеслав Нивенгловский – о таком же наблюдении от сернистого кальция [3]. Но их опыты никто не смог повторить, чтобы подтвердить заявленное открытие. Физики сочли, что эти ученые попросту выдали желаемое за действительное.

А дальше началось то, что привело в смятение и самого Беккереля, и всех тех, кто всецело разделял рентгено-люминесцентную идею Пуанкаре. Для доказательства идентичности открытого им излучения и рентгеновских лучей Беккерель решил облучать им различные предметы, чтобы сравнить его проникающую способность с такой же характеристикой рентгеновских лучей. 26 февраля 1896 г., как обычно, он собрал конструкцию – в специально придуманную им кассету уложил фотопластинку, упакованную в черную бумагу, сверху положил медный мальтийский крест, покрытый люминофором – кристалликами калий-уранила. Однако пасмурная погода помешала проведению эксперимента, опыт пришлось

отложить. Расстроенный ученый поместил все приготовленное к опыту на обычное место в шкафу.

Наконец, 1 марта 1896 г. установилась ясная солнечная погода, благоприятствующая проведению эксперимента. Но что было делать с фотопластинкой, на которой больше двух суток лежал люминофор? В разных источниках дальнейшие действия Беккереля описываются по-разному. Одни полагают, что он проявил злополучную фотопластинку «на всякий случай», другие – что проявил ее, «следуя своей привычке все тщательно проверять». Нам же импонирует еще одна, представляющаяся правдоподобной, версия, изложенная в одном (даже не физическом) популярном журнале (о ней упоминается также в работе [4]). Лаборант-химик, не зная о несостоявшемся опыте, проявил, как обычно, эту фотопленку. Когда же наступил солнечный день, Беккерель, не найдя в шкафу подготовленный к опыту препарат, за потерей обратился к лаборанту. Тот сказал, что пластинка уже проявлена. «Как проявлена? – сокрушался Беккерель, – ведь я не смог засветить крест!». «Как же не смогли, когда на пластинке есть его отпечаток!» – парировал лаборант. Вот после этого Беккерелю и пришла мысль о том, что, может, выдерживать на солнце урановые соли и не обязательно, чтобы они испускали лучи. Дальнейшие опыты, проведенные Беккерелем теперь уже целенаправленно, подтвердили эту догадку, что и привело его к выдающемуся открытию. Действительно, он увидел на фотопластинке четкий отпечаток креста, который образовался от излучения даже не засвеченного на солнце калий-уранила.

На следующий день, 2 марта 1896 г., Беккерель на заседании Академии наук известил своих коллег-ученых об этом открытии в докладе «О невидимой радиации, производимой фосфоресцирующими веществами». Именно этот день и считается датой открытия явления

радиоактивности. Ученый продолжил активные исследования в этом направлении и обнаружил, что открытое им новое излучение исходит только от соединений урана, в том числе от даже нелюминесцентных его солей. Следовательно, и солнечный свет, и фосфоресценция в этом явлении участия не принимают. Это новое излучение сначала получило название «урановые лучи», а затем – «лучи Беккереля». Но ни то, ни другое название в науке не прижились. Позднее видный специалист в этой области дважды лауреат Нобелевской премии Мария Склодовская-Кюри предложила дать название этому излучению «радиоактивность». Она руководствовалась латинскими понятиями “radus” – луч и “activus” – действенный.

И действительно, эти лучи, как показал в дальнейшем Беккерель, оказывают весьма заметное воздействие на различные тела. Так, стекло под действием радиационного 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. он в девяти статьях описал основные свойства радиоактивного излучения и ряд последствий его воздействия, в том числе и биологического, отметил большую продолжительность действия этих лучей. Об этом он писал так: «Различные соли урана были помещены в толсто-стенный свинцовый ящик. Защищенные от действия любых известных излучений, эти вещества продолжали испускать лучи... через 8 месяцев».

При этом он не мог объяснить, откуда уран черпает излучаемую затем энергию, 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, побывав в лаборатории Беккереля, – Пуанкаре,

Рамзай, Стокс, Кельвин, Менделеев. Эти результаты и самого Беккереля вынудили отказаться от изначально принятой им теории об испускании рентгеновских лучей при фосфоресценции. Проявив научную строгость и порядочность, он мужественно оставил свои изжившие себя представления о природе рентгеновского излучения и свойствах фосфоресценции.

Как только ученый мир узнал об опытах и открытии Беккереля, тут же появились сообщения о том, что задолго до этого похожее невидимое излучение наблюдалось и другими исследователями. Так в 1866 г. уже упоминавшийся соотечественник Беккереля Ньепс де Сен-Виктор, работая над проблемой получения цветных фотографий, обнаружил, что даже в темноте соли урана засвечивали фотобумагу. Этот факт навел его на мысль о том, что урановые соли излучают какие-то невидимые глазу лучи. Об этом он даже сообщал в Академию наук в представленной работе «О новых действиях света». Несколько позднее подобный эффект зафиксировал и итальянский химик Ариодон. Однако эти сообщения не нашли должного внимания в научных кругах, поскольку данные сообщения были недостаточно четкими, а опыты трудно воспроизводимыми. Да и Парижская академия наук после скандала, связанного с разоблачением профессора Р. П. Блондо, сообщившего об открытии им несуществующих N-лучей, стала намного осторожнее в признании чего-то нового. Ведь после Беккереля об «открытиях» нового рода невидимых лучей появилось несколько публикаций даже известных физиков. Вот и профессор Блондо, видимо, поддавшись самовнушению, «увидел» то, что хотел увидеть. Он якобы не только обнаружил некие новые лучи, но даже смог исследовать их спектры. На поверку же ни один из серьезных исследователей не сумел подтвердить существования этих мнимых лучей, а вмешательство

в споры знаменитого американского экспериментатора Роберта Вуда окончательно похоронило выводы Блондо об N-лучах. Итог этого скандала оказался весьма трагичным. Разоблаченный Блондо, который прежде купался в лучах славы (ведь Парижская академия наук успела наградить его золотой медалью и крупной суммой денег), не смог перенести позора, сошел с ума и вскоре умер [3].

Вместе с тем ряд ученых-физиков подключились к серьезным исследованиям радиоактивности и ее свойств. Выдающихся успехов на этом поприще добились супруги Кюри – Мария и Пьер. Они провели множество трудоемких и, как потом оказалось, опасных для здоровья экспериментов с радиоактивными веществами. О трудоемкости проводимых ими опытов свидетельствует следующий факт. Стоимость таких веществ зашкаливала, как писала сама Мария: «У нас не было ни денег, ни лаборатории, ни помощи, чтобы хорошо выполнить эту важную и трудную задачу. Надо было создать нечто из ничего» [5]. Для исследования была выбрана ураново-смоляная руда (она добывалась на территории Чехии) с очень сильными радиоактивными свойствами. О покупке руды не могло быть и речи. Тогда Мария предложила купить не саму руду, а несколько тонн ее отходов, стоивших сущие пустяки.

Эти тонны предстояло переработать самим, но где? Супругам был предложен деревянный сарай 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. «Но как раз в этом деревянном старом сарае, – вспоминала Мария, – протекли лучшие и счастливейшие годы нашей жизни».

Кюри поставили перед собой задачу разделить эту урановую смоляную обманку на химические компоненты.

В своей книге «Пьер Кюри» Мария Кюри описывает, в каких условиях велась эта работа: «Нам доводилось обрабатывать за раз до двадцати килограммов первичного материала и в результате уставлять сарай большими сосудами с химическими остатками и жидкостями» [6]. За 4 года они вручную переработали 8 тонн урановой смолки (настурана). Исследуя уранит, Мария Кюри обнаружила, что это вещество обладает гораздо большей радиоактивностью, чем должно быть. Ранее супруги Кюри показали, что интенсивность излучения солей урана прямо пропорциональна количеству содержащегося в нем урана. Этот факт навел на мысль, что в ураните содержится не только уран, но и еще какие-то радиоактивные элементы.

После трудоемких операций они получили небольшое количество вещества, обладавшее наибольшей радиоактивностью. Оказалось, что выделенная порция содержит не один, а два неизвестных радиоактивных элемента. В июле 1898 г. Кюри сообщили об открытии нового химического элемента, который они назвали «полонием», в честь родины Марии Склодовской – Польши. В декабре того же года они объявили об открытии второго элемента, который назвали «радием» (радий – лучистый). Ими была определена и атомная масса радия, оказавшаяся равной 225. Выделить полоний в чистом виде не удалось, так как он оказался продуктом распада радия.

Радий – элемент, встречающийся в природе крайне редко, и цены на него, с учетом его медицинского значения, быстро возросли. Кюри жили бедно, и нехватка средств не могла не сказываться на их исследованиях. Вместе с тем они решительно отказались от патента на свой экстракционный метод, равно как и от перспектив коммерческого использования радия. По их убеждению, это противоречило бы духу науки – свободному обмену знаниями. И это несмотря на то,

что такой отказ лишил их немалой прибыли, хотя финансовое положение семьи Кюри оставляло желать лучшего.

Желание расширить масштабы научных исследований приводит Марию к решению о создании Института радия, прилагая для этого максимум усилий. Перед самой первой мировой войной этот институт был открыт. Для его успешного функционирования необходим был чистый радий, стоимость которого в то время в сто тысяч раз превышала стоимость золота – он был тогда самым драгоценным элементом в мире. Отметим, что в 1910 г., уже после трагической смерти Пьера, Мария совместно с другим французским физиком – первооткрывателем радиоактивного актиния, выделили небольшое количество чистого металлического радия. Чтобы получить 0,1 г чистого радия, ей пришлось переработать 500 кг уранита. М. Кюри накопившийся у нее 1 г собственноручно добытого радия отдает на нужды института и медицины. То есть работа Марии как исследователя оказалась действительно сверхтрудоёмкой, но зато весьма плодотворной.

О том, что эта работа еще и опасна, свидетельствуют следующие события: Еще Беккерель, проводя свои эксперименты, отмечал, что от воздействия открытого им излучения на руках образовывались долго не заживающие язвы. Когда же ему потребовалось радиоактивное вещество для демонстрации его свойств на лекции, он позаимствовал на время у супругов Кюри ампулу с хлористым радием, излучение которого примерно в два миллиона раз интенсивнее, чем у урана. Эту пробирку он положил в карман своего жилета и носил ее около 6 часов. А через сутки увидел на своем теле пятно покрасневшей кожи, напоминающее по форме ту злополучную пробирку. Об этом он сообщил Пьеру Кюри, заявив: «Я очень люблю радий, но я на него в обиде».

Пьер решил на себе проверить, так ли это, для чего прикрепил к предплечью

пробирку с радием и носил ее целых 10 часов. Последствие такого опыта оказалось скверным – сначала появилось покраснение кожи, которое затем переросло в болезненную язву, потребовавшую почти два месяца на ее лечение. Такими опасными опытами и было установлено вредоносное биологическое действие радиоактивного излучения. Оно неизменно проявлялось у всех тех, кто имел контакт с радиоактивными препаратами.

Широко известен случай с так называемыми «радиоактивными девушками». На одной из фабрик по выпуску часов со светящимся циферблатом использовалась радиевая краска, которую работницы наносили вручную на стрелки и циферблат с помощью кисточек. Чтобы кисточки были тонкими и меньше гнулись, женщины постоянно смачивали их слюной. В итоге многие из них получили тяжелое отравление, приведшее к серьезным заболеваниям кожи губ, рака челюстей и всей костной системы. Отмечены были и случаи смерти. Известно, что и сама Мария Кюри безвременно скончалась от лейкемии, вызванной исследуемыми ею радиоактивными лучами. Обследованные в 1955 г. ее записные книжки, как оказалось, до сих пор излучают, так как были заражены радиацией. А на одном из листков даже был обнаружен радиоактивный отпечаток пальца ее мужа Пьера. За 60 лет, прошедших после открытия радиоактивности, от лучевого рака кожи и лейкемии умерло 369 специалистов-радиологов.

И тем не менее, даже зная о вредных последствиях работы с радиоактивными веществами, ученые продолжали исследования, открывая все новые и новые их свойства. Так, в 1898 г. М. Кюри, независимо от немецкого физика Г. Шмидта, установила, что торий и его соединения также обладают радиоактивностью. В этом же году Ю. Эльстер и Г. Гейтель доказали независимость излучения урана и тория ни от температуры, ни от

давления, подтвердив тем самым, что радиоактивность является внутренним свойством элемента и никоим образом не связана с внешним на него воздействием.

Весомый вклад в изучении радиоактивности внес известный английский физик Эрнест Резерфорд, активно включившийся в этот процесс. В 1899 г., пропуская радиоактивное излучение между полюсами магнита, он определил его неоднородность. Разделившись на два пучка радиоактивные лучи он обозначил как альфа- и бета-лучи. А в 1901 г. уже сам Беккерель открыл и третий вид этого излучения – гамма-лучи. Работы Резерфорда в дальнейшем существенно обогатили представление о радиоактивности. В 1902 г. вместе со своим сотрудником-химиком Ф. Содди им было доказано, что во всех радиационных процессах происходят взаимные превращения ядер химических элементов. Затем он выдвинул теорию радиоактивного распада и сформулировал закон радиоактивного распада. А еще позднее доказал, что гамма-радиоактивное излучение представляет собой электромагнитную волну с очень короткой длиной.

Мировая научная общественность высоко оценила достижения ученых в области радиоактивности. В 1903 г. А. Беккерель, Мария и Пьер Кюри были удостоены Нобелевской премии по физике. В Нобелевской лекции, которая обычно читается лауреатом после ее вручения, Беккерель доложил «О новом свойстве материи, называемом радиоактивностью» (так называлась его лекция) и как бы подвел итог семилетних исследований, проведенных им и супругами Кюри. При этом подробно охарактеризовал особенности радиоактивного излучения урана, тория, радия, полония, актиния. Мария Склодовская-Кюри, фактически отдавшая свою жизнь за исследования нового явления, имела полное право предложить этому явлению название «радиоактивность» и дать ему

определение в виде: «радиоактивность – самопроизвольное испускание так называемых альфа-, бета- и гамма-лучей».

В 1908 г. Э. Резерфорд также стал Нобелевским лауреатом по... химии, чему был несказанно обрадован и удивлен: «Я имел дело со многими разнообразными превращениями, но самое замечательное превращение заключалось в том, что в один миг я превратился из физика в химика» [7]. Заметим, что в то время радиоактивность относилась не к физике, а химии. И все-таки было бы справедливым отметить труды Резерфорда еще и Нобелевской премией по физике, где он сделал несколько буквально грандиозных открытий, каждое из которых заслуживало столь высокой награды. В частности, им открыто существование атомного ядра, им осуществлена первая в мире ядерная реакция (всего он провел их 17) и наконец им открыта одна из фундаментальнейших частиц мироздания – протон.

Дело этих талантливых исследователей продолжили их ученики. Так, в 1932 г., продолжая изучать закономерности ядерных превращений, ученик Резерфорда Дж. Чедвиг открыл нейтрон, а в 1935 г. дочь Марии и Пьера Кюри Ирен вместе со своим мужем Ф. Жолио доказали существование искусственной радиоактивности. Названные ученые также стали лауреатами Нобелевской премии.

Сейчас же для многих людей, не связанных с наукой, понятие «радиоактивность» чаще всего ассоциируется с чем-то опасным, вредным и страшным. Такое

представление об этом явлении еще больше укоренилось после мощных выбросов радиации и его последствий при крупных авариях на АЭС в ряде стран. И это несмотря на огромное количество информации о пользе радиоактивных излучений в жизни человека, опубликованной в научных и популярных журналах и в других СМИ. В рамках одной статьи не представляется возможным проанализировать весь поток сообщений на эту тему. Поэтому ограничимся лишь ссылкой на видение данной проблемы знаменитым российским ученым В. И. Вернадским, посвятившим изучению этого явления значительную часть своей жизни. Владимир Иванович писал: «Это открытие произвело огромный переворот в научном мировоззрении, вызвало создание новой науки, отличной от физики и химии, – учения о радиоактивности, поставило перед жизнью и техникой практические задачи нового рода, открыло горизонты возможностей, совершенно неожиданных и, казалось, навсегда для человечества закрытых» [8].

Действительно, открытие радиоактивности положило начало новой эпохи в физической науке и не только. Оно позволило понять строение атомов и атомных ядер, познать закономерности ядерных превращений, получить доступ к ядерной энергии через ядерные реакции. Благодаря этому открытию человек смог существенно расширить свои представления о структуре и свойствах материи, понять закономерности процессов, протекающих во Вселенной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Храмов Ю. А. Физика. Биографический справочник. М.: Наука, 1983. 400 с.
2. Капустинская К. А. Анри Беккерель. М.: Атомиздат, 1965. 87 с.
3. Явелов Б. Е. Случайное и закономерное в истории физических открытий. М.: Знание, 1982. 64 с.
4. Голубь П. Д., Овчаров А. В., Насонов А. Д. Из жизни творцов физической науки. Барнаул: Изд. АлтГПУ, 2017. 359 с.
5. Кюри М. Радиоактивность. М.: Изд. физико-математической литературы, 1960. 542 с.
6. Кюри М. Пьер Кюри. М.: Наука, 1968. 176 с.

7. Резерфорд Э. *Избранные научные труды*. Радиоактивность. М.: Наука, 1971. 432 с.
8. Вернадский В. И. *Избранные труды по истории науки*. М.: Наука, 1981. 359 с.

REFERENCES

1. Khramov Yu. A. *Fizika. Biograficheskiy spravochnik*. Moscow: Nauka, 1983. 400 p.
2. Kapustinskaya K. A. *Anri Bekkerel*. Moscow: Atomizdat, 1965. 87 p.
3. Yavelov B. E. *Sluchaynoe i zakonornoe v istorii fizicheskikh otkrytij*. Moscow: Znanie, 1982. 64 p.
4. Golub P. D., Ovcharov A. V., Nasonov A. D. *Iz zhizni tvortsov fizicheskoy nauki*. Barnaul: Izd. AltGPU, 2017. 359 p.
5. Kyuri M. *Radioaktivnost*. Moscow: Izd. fiziko-matematicheskoy literatury, 1960. 542 p.
6. Curie M. *Pierre Curie*. Moscow: Nauka, 1968. 176 p. (In Russian)
7. Rutherford E. *Izbrannye nauchnye trudy. Radioaktivnost*. Moscow: Nauka, 1971. 432 p. (In Russian)
8. Vernadskiy V. I. *Izbrannye trudy po istorii nauki*. Moscow: Nauka, 1981. 359 p.

Овчаров Александр Владимирович, доктор педагогических наук, профессор, заведующий кафедрой технологических дисциплин, Алтайский государственный педагогический университет

e-mail: oav.ovcharov2010@yandex.ru

Ovcharov Alexander V., ScD in Education, Full Professor, Head of the Department of Technological disciplines, Altai State Pedagogical University

e-mail: oav.ovcharov2010@yandex.ru

Голубь Павел Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры физики и методики обучения физике, Алтайский государственный педагогический университет

e-mail: golubpd@yandex.ru

Golub Pavel D., PhD in Mathematics and Physics, Professor, Physics and Methods of Teaching Physics Department, Altai State Pedagogical University

e-mail: golubpd@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 04.12.2020

The article was received on 04.12.2020