

ОПЫТ ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ВУЗОВ В ЛАБОРАТОРНОМ ПРАКТИКУМЕ ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Белянин В.А.¹, Кречетова И.В.², Целищева Л.В.²

¹ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола, e-mail: skva12@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, e-mail: KrechetovaIV@volgatech.net

Исследование выполнено в Поволжском государственном технологическом университете. В эксперименте принимали участие студенты, не специализирующиеся в области ядерной физики и обучающиеся по специальностям: «Теплоэнергетика», «Интеллектуальные телекоммуникационные системы», «Строительство». Материальную лабораторную базу исследования составил комплект приборов «Арион», позволяющий проводить выполнение лабораторных работ по ядерной физике с существующими в естественной среде радиоактивными источниками, такими как космическое излучение, естественная радиоактивность атмосферного воздуха, излучение изотопа калия ^{40}K . Препарат калия, как радиоактивный источник, представляет собой соль KCl, взятую в виде порошка. Каких-либо ограничений по использованию солей калия в учебных организациях не существует ввиду их малой радиационной активности. В статье рассматриваются методические особенности организации самостоятельной работы студентов, анализируется многолетний опыт по активизации самостоятельной работы студентов в области учебного физического эксперимента по ядерной физике. Предлагается поделить по времени всю учебную работу студентов в лаборатории ядерной физики на две части: выполнение базовых лабораторных работ по готовым описаниям и самостоятельную работу студентов по разработке и включению в прделанные лабораторные работы новых учебных задач, упоминания о которых в тексте описания лабораторных работ отсутствуют. Приведены примеры новых для лабораторного практикума учебных задач по ядерной физике, разработанных студентами под руководством преподавателя и подготовленных для включения в лабораторные работы практикума. Показано, что предлагаемая методика работы студентов в лаборатории ядерной физики позволяет достаточно эффективно формировать навыки обучающихся в области физического эксперимента по ядерной физике.

Ключевые слова: самостоятельная работа студентов, лабораторный практикум по ядерной физике, бета-излучение изотопа калия, поглощение бета-излучения веществом, лабораторные работы по ядерной физике, постановка новых лабораторных работ.

EXPERIENCE OF TECHNICAL STUDENTS' INDEPENDENT WORK MANAGEMENT IN THE NUCLEAR PHYSICS LABORATORY PRACTICUM

Belyanin V.A.¹, Krechetova I.V.², Celishheva L.V.²

¹FGBOU VO «Mari State University», Yoshkar-Ola, e-mail: skva12@mail.ru;

²FGBOU VO «Volga State University of Technology», Yoshkar-Ola, e-mail: KrechetovaIV@volgatech.net

The study has been conducted at Volga State University of Technology. The experiment included students majoring in Heat Power Engineering, Intelligent Telecommunication Systems, Construction but not in Nuclear Physics. An Arion equipment set was used as a laboratory facility and resource base of the study as it allowed us to give laboratory classes in Nuclear Physics using natural radiation sources such as cosmic radiation, natural radioactivity of the atmosphere air, ^{40}K potassium isotope radiation. A potassium preparation as a radiation source is a KCl salt powder. Due to their low radioactivity, potassium salts are not limited for the use at educational organizations. The paper deals with the methodological techniques of students' independent work management and reviews many years of experience in promotion of students' independent work in the field of an academic physical experiment in nuclear physics. We propose to divide the whole time of the students' academic work at the Nuclear Physics Laboratory into two parts: i) basic laboratory classes using pre-defined descriptions and ii) students' independent work on development of new training problems, which are not mentioned in the laboratory class description, and introduction of such problems into the laboratory classes completed. The paper includes examples of new laboratory practical Nuclear Physics problems developed by students under the supervision of a lecturer and prepared for introduction into the Laboratory Practicum. It is demonstrated that the proposed methods of students' work at the Nuclear Physic Laboratory help to effectively develop students' skills in the field of physic experiments in nuclear physics.

Keywords: students' independent work, laboratory practicum in Nuclear Physics, potassium isotope beta-radiation, absorption of beta-radiation by a substance, laboratory classes in Nuclear Physics, development of new laboratory classes.

Постановка лабораторных работ и проведение лабораторного практикума по ядерной физике в учебных физических лабораториях вузов обладает рядом особенностей по сравнению с проведением лабораторных практикумов по другим разделам физики. Основная сложность работы в лабораториях ядерной физики связана с наличием в лабораторных установках радиоактивных источников и, как следствие, с необходимостью каким-либо способом защитить обучающихся от негативного воздействия радиоактивного излучения. При выполнении таких лабораторных работ студенты зачастую вообще не видят радиоактивный источник, свойства которого они изучают. Источник хранится в сейфе, на рабочее место его устанавливает лаборант, вскрывать контейнер с радиоактивным источником студентам категорически запрещено. У студентов практически нет возможности для каких-либо манипуляций с размерами и характеристиками радиоактивных источников, а также и с объектами, на которое это излучение направляется. Студент выполняет лабораторную работу по заранее составленному описанию, его действия для изменения состояния лабораторной установки строго регламентированы [1]. Организовать в таких лабораториях, где учебные установки «закрыты», а эксперимент проводится по жесткому алгоритму, самостоятельную работу студентов достаточно сложно. Самостоятельность обучающихся чаще всего сводится к реферированию учебного материала, к изучению экспериментальной установки по ее описанию, к объяснению предполагаемых и полученных в эксперименте результатов. Для совершенствования экспериментальных навыков студентов, для их роста в области физического эксперимента по ядерной физике требуется, на взгляд авторов, самостоятельный доступ студентов к манипуляциям с радиоактивными источниками и объектами, на которые эти источники воздействуют. Это можно реализовать, если в лабораторных установках по ядерной физике использовать не искусственные, а естественные радиоактивные источники, постоянно существующие и всегда сопровождающие жизнь людей. Они составляют радиоактивный фон, их радиационная активность незначительная, а при контакте с людьми они не оказывают вредного воздействия на организм человека.

Организуемая и контролируемая самостоятельная работа студентов в учебной лаборатории ядерной физики может выполняться по заданию и под методическим руководством преподавателя, но без его прямого участия в данном процессе. Преподаватель отслеживает у студентов качественные изменения в учебно-познавательной деятельности, вносит коррективы в работу, оказывает помощь в преодолении трудностей по освоению

знаний, поощряет успехи в учебе и исследовательской деятельности. Целью самостоятельной работы является приобретение студентами новых знаний, закрепление пройденного материала, систематизация практических умений и навыков в области физического эксперимента.

Необходимость и актуальность теории и практики организации самостоятельной работы студентов при выполнении лабораторных практикумов определяется, прежде всего, тем, что рабочие программы изучения физики в вузе содержат часы самостоятельной работы. И эти часы необходимо эффективно использовать по своему прямому назначению. Вопрос эффективности самостоятельной работы студентов является предметом научно-методических статей. Так, подход к организации самостоятельной работы студентов-первокурсников радиотехнического факультета Поволжского государственного технологического университета при изучении физики рассмотрен в статье [2]. В статье [3] рассматриваются вопросы организации и проведения лабораторных работ по дисциплинам курса «Общая физика» с использованием дистанционных образовательных технологий. А.В. Кузнецова и А.В. Кузнецов исследуют аспекты формирования навыков самостоятельной работы студентов при выполнении лабораторных работ по молекулярной физике [4]. Авторы работы [5] предлагают в рамках организации самостоятельной работы студентов привлекать первокурсников к модернизации лабораторного практикума по физике в качестве способа формирования их профессиональных компетенций. Командные формы организации самостоятельной работы студентов на практических занятиях по физике рассматриваются в работах [6; 7].

Выполнение базовых лабораторных работ в лаборатории ядерной физики студент начинает с самостоятельного составления конспекта лабораторной работы в домашних условиях. В конспекте отражаются название и цель работы, схема экспериментальной установки, краткий теоретический обзор со всеми расчетными формулами и таблица для занесения экспериментальных данных. Перед выполнением лабораторной работы студент сдает допуск к ее выполнению в виде устного опроса либо в виде теста, содержание которого позволяет оценить уровень его предварительной подготовки. Получив допуск, студенты самостоятельно выполняют работу, заносят экспериментальные данные в таблицу, проводят математические расчеты, строят графики, пишут выводы по работе и готовят работу к защите [8].

Цель исследования. Проанализировать и описать многолетний опыт организации самостоятельной работы студентов в лабораториях ядерной физики двух вузов Республики Марий Эл: Поволжского государственного технологического университета и Марийского государственного университета. Основная идея исследования состоит в том, что студенты

после знакомства с комплектом приборов «Арион» и самостоятельного выполнения обязательных лабораторных работ по ядерной физике под руководством преподавателя разрабатывают новые экспериментальные задачи, а затем их экспериментально решают на тех же лабораторных установках, которые они освоили при выполнении экспериментов по готовым описаниям.

Материал и методы исследования. Материальной базой исследования был комплект приборов «Арион», который ранее специально был разработан для учебной лаборатории ядерной физики педагогического института. Приборы «Арион» представляют собой, в совокупности, полную лабораторию ядерной физики для высших учебных заведений. Приборы «Арион» предназначены для выполнения лабораторных работ в лабораториях ядерной физики студентами, не специализирующимися в области ядерной физики. Этот факт ограниченного применения комплекта приборов «Арион» авторы специально подчеркивают, т.к. радиоактивных источников естественной природы, которые безопасно используются в учебной лаборатории на основе комплекта приборов «Арион», для подготовки специалистов в области ядерной физики явно не достаточно, но вполне достаточно для подготовки студентов технических специальностей в области физического эксперимента при изучении общего и экспериментального курса физики. Литературу по конструктивным особенностям комплекта приборов «Арион», его возможностям и методике применения в учебном процессе можно найти в работе [9].

Конструктивно прибор «Арион» состоит из электронного блока, который является универсальным и используется при выполнении любой лабораторной работы как источник питания счетчиков Гейгера - Мюллера, как секундомер для отсчета времени экспозиции и как счетчик импульсов, создаваемых радиоактивными частицами, пронизывающими счетчики – приемники излучения. К электронному блоку можно подключить две группы счетчиков Гейгера - Мюллера и включать их или по схеме совпадений, или по схеме антисовпадений. Назначение кнопок на лицевой панели прибора следует из их названия. Электронный блок удобен в работе и дает возможность студенту управлять физическим экспериментом в ручном режиме работы, т.е. студент, выполняя лабораторную работу, понимает и осознает, что и зачем он делает. Последнее важно для совершенствования экспериментальных навыков обучающихся.

Для постановки лабораторных работ используются три типа совершенно безопасных радиоактивных источников. Прежде всего, это соли калия в виде порошка KCl , K_2SO_4 , KBr , KI , K_2CO_3 , KF . Наиболее доступными и чаще используемыми в лаборатории как источники β -излучения являются калий хлористый KCl и калий сернокислый K_2SO_4 . Радиоактивным является изотоп $^{40}_{19}K$. Именно электроны излучения изотопа $^{40}_{19}K$ используются в

лабораторных работах, выполняемых с помощью комплекта приборов «Арион». Вторым радиоактивным источником является естественная радиоактивность атмосферного воздуха. Эта радиоактивность присутствует в любом воздухе любой аудитории. Она возникает как результат распада радия $^{88}\text{Ra}^{226}$. В результате цепочки радиоактивных распадов из ядер радия возникают ядра свинца $^{82}\text{Pb}^{214}$ (период полураспада 27 минут) и висмута $^{83}\text{Bi}^{214}$ (период полураспада 19,7 минуты). Появление свинца и висмута сопровождается β -излучением, которое и исследуется в лабораторном эксперименте. Для использования в лабораторных исследованиях эту радиоактивность усиливают за счет пропускания воздуха в больших объемах через фильтрующие элементы, размещенные в свинцовом домике. Третий источник естественной радиоактивности природа поставляет в виде космических лучей, постоянно бомбардирующих атмосферу Земли. Часть этого излучения взаимодействует с ядрами атомов газов в земной атмосфере и достигает поверхности нашей планеты в виде фотонов, электронов, мезонов. Это вторичное космическое излучение обладает большой проникающей способностью и достигает лабораторных приборов, расположенных на любом этаже учебного здания.

С помощью комплекта приборов «Арион» можно выполнить лабораторные работы по исследованию распределения числа регистрируемых частиц, изучению счетной характеристики счетчика Гейгера - Мюллера, исследованию поглощения β -излучения в различных материалах, определению процентного состава смеси солей по их радиоактивности, определению закономерностей углового распределения космического излучения и его состава. Именно на эти отработанные и хорошо идущие лабораторные работы, всегда дающие надежные результаты, авторы «нанизывают» организуемую и контролируемую самостоятельную работу студентов в лаборатории ядерной физики, имеющую определенные элементы исследовательской деятельности [10].

Результаты исследования и их обсуждение. Общие принципы организации и контроля самостоятельной работы студентов технического вуза в лаборатории ядерной физики авторы рассматривают на примере экспериментального изучения вопросов, связанных с прохождением электронов, возникающих при радиоактивности изотопа $^{19}\text{K}^{40}$, через различные среды: твердые, жидкие или газообразные.

Студенты выполняют по готовому описанию лабораторную работу «Определение коэффициента поглощения β -излучения» [8]. В эксперименте используется прибор «Арион» со свинцовым домиком, источник излучения (соль КСI), различные материалы в виде тонких пластин (алюминий, латунь, бумага). Цель работы: экспериментальное изучение поглощения β -излучения различными материалами. В описании лабораторной работы дается краткое теоретическое введение по взаимодействию β -излучения непрерывного спектра с веществом.

Закон поглощения электронов записывается в дифференциальной и интегральной форме, вводится понятие линейного коэффициента поглощения, толщины слоя половинного поглощения, максимальной величины пробега электронов в изучаемом веществе. Подробно рассматривается порядок выполнения работы: включение и выключение прибора, способы постановки в прибор источника радиоактивности и исследуемых образцов, время отсчета числа импульсов при измерениях и т.п. В число заданий по оформлению результатов лабораторной работы входят заполнение таблицы, построение графиков, в том числе и в полулогарифмическом масштабе, расчет коэффициента поглощения материалов, определение толщины слоя половинного и максимального пробега электронов. В конце описания лабораторной работы приведены вопросы для самоконтроля и список рекомендованной студентам литературы. Лабораторную работу студенты выполняют по два человека, также парами они сдают результаты работы преподавателю.

Во время сдачи лабораторной работы начинается второй этап организации самостоятельной работы студентов в лаборатории ядерной физики. Преподаватель предлагает студентам продолжить исследование прохождения электронов в веществе с помощью уже изученной лабораторной установки с ответами на вопросы: какие новые материалы можно изучить, на каких образцах, как их изготовить, нужно ли изменить экспериментальную установку, как изменить источник радиоактивности или условия эксперимента и т.д. и т.п.? В результате такого детального обсуждения составляется план дальнейшей работы, как самостоятельной работы студента в домашних условиях, так и технического персонала лаборатории, например лаборантов. В течение недели студент может обсудить с преподавателем возникшие вопросы дистанционно. При идеальном стечении обстоятельств обучающиеся могут решить новую для них экспериментальную задачу уже через неделю, на следующем лабораторном занятии и, что важно, на освоенном и знакомом им оборудовании. Здесь нужно подчеркнуть, что вновь поставленные и вновь решаемые экспериментальные задачи могут быть субъективно новыми для студентов, а преподаватель может знать их решение и заранее предвидеть результаты решения таких задач. Выбор объектов для исследования поглощения электронов в твердых телах может быть очень большим. Это может быть офисная бумага различной плотности, техническая (конденсаторная) бумага, бумага, окрашенная или обработанная какими-либо растворами. Задача преподавателя – помочь студенту правильно поставить цель исследования, выбрать образцы для исследования, подсказать, где найти необходимые материалы и как приготовить образцы. Все остальное студент делает самостоятельно. По аналогии с изучением бумаги можно поставить задачи по изучению поглощения электронов в полимерных пленках разного химического состава или разной толщины.

Следующая система экспериментальных задач для самостоятельной работы студентов может быть построена на изучении явления поглощения электронов в жидкостях. Естественно, самой доступной и распространенной жидкостью является вода. Ее и нужно предложить студентам в качестве первичного объекта исследования. Объектами последующих исследований могут стать спирты, растворы, масла и т.д. В качестве объектов для изучения поглощения электронов можно выбрать порошковые материалы (например, поваренную соль) или газы (например, воздух). Газы имеют значительно меньшую плотность, чем жидкости и твердые тела. Максимальный пробег электронов, излучаемых изотопом калия, будет в воздухе измеряться не миллиметрами, как в алюминии, а десятками сантиметров. Анализируя эту ситуацию, студенты должны осознать, что для изучения газов (например, изучение поглощения электронов в атмосферном воздухе) нужен не свинцовый домик, как для изучения металлов и жидкостей, а новая установка с большим расстоянием от источника до счетчиков.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что все лабораторные работы, выполняемые с помощью приборов «Арион», могут быть использованы для организации самостоятельной работы студентов в лаборатории ядерной физики.

Лабораторные работы по физике в технических вузах традиционно выполняются звеньями по несколько человек. В лаборатории ядерной физики при организации и проведении самостоятельной работы был использован опыт командной работы студентов-бакалавров технических специальностей [6]. Студенты второго курса инженерно-технических специальностей и направлений активны в общении, быстро распределяют между собой задания и помогают друг другу. Самостоятельная работа студентов при выполнении лабораторных работ по ядерной физике направлена на осуществление поиска нужной информации в сети Интернет, продумывание и нахождение экспериментальных образцов (строители – бетон и цемент, радиоинженеры – плексиглас и т.д.). Эффективная работа в команде ориентирует на совместное решение поставленных задач, положительно влияет на развитие партнерских и деловых отношений в студенческой группе, способствует формированию заявленных в рабочих программах дисциплины «Физика» общепрофессиональных и универсальных компетенций.

Для выяснения степени самостоятельной подготовки студентов к выполнению лабораторной работы наряду с устным допуском применяется электронный ресурс, имеющий инструмент «Видеодопуск к лабораторной работе», адаптированный к приборам, используемым в лаборатории. В видеодопуске студенты могут ознакомиться с видеофильмом работы установки «Арион», со свинцовым домиком, с радиоактивными источниками, образцами и материалами. В электронном курсе в рамках внеаудиторной

самостоятельной работы студенты могут выполнить тест-допуск к лабораторным работам. Использование видео и тест-допусков к лабораторным работам позволяет повысить качество самостоятельной работы студентов и уровень их исследовательских умений для перехода к дальнейшим самостоятельным исследованиям.

Заключение. Исследование вопросов организации и контроля самостоятельной работы студентов технических специальностей в учебных лабораториях ядерной физики является в настоящее время актуальным. В первую очередь это связано как с важностью самостоятельной работы студентов для совершенствования умений и навыков физического эксперимента в области ядерной физики, так и со спецификой самой лаборатории, в которой широко используются искусственные радиоактивные источники. Комплект приборов «Арион» работает только с безопасными естественно-радиоактивными источниками, что позволяет на новом, более высоком, уровне допускать студентов к самостоятельной работе в учебной лаборатории ядерной физики. При работе с солями калия, как с источником быстрых электронов, студенты получают возможность самостоятельно изменять параметры источника, меняя его размеры и форму. Домашняя самостоятельная работа студента по подготовке к выполнению лабораторной работы контролируется электронным ресурсом, включающим в себя «Тест-допуск» и «Видеодопуск» к лабораторной работе. В лаборатории практикуются командные формы организации и контроля самостоятельной работы. Исследовательская направленность самостоятельной работы студентов в лаборатории ядерной физики была реализована через разработку студентами новых экспериментальных задач и самостоятельное решение этих задач на имеющемся в лаборатории оборудовании или, при необходимости, на самостоятельно модернизированном варианте лабораторной установки.

Список литературы

1. Ажеганов А.С., Вольхин И.Л., Измestьев И.В., Лунегов И.В. Атомная и ядерная физика: общий физический практикум. Ч.2. Ядерная физика: учебное пособие. Пермь, 2020. 116 с.
2. Кречетова И.В., Целищева Л.В. Подход к организации самостоятельной работы студентов-первокурсников радиотехнического факультета Поволжского государственного технологического университета при изучении физики // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2019. С. 87-98.

3. Максимова А.Н., Клячин Н.А., Матрончик А.Ю., Муравьев-Смирнов С.С. Организация и проведение лабораторных работ по дисциплинам курса "Общая физика" с использованием дистанционных образовательных технологий // Физическое образование в ВУЗах. 2022. Т. 28, № 2. С. 139-154. DOI: 10.54965/16093143_2022_28_2_139.
4. Кузнецова А.В., Кузнецов А.В. Формирование навыков самостоятельной работы студентов при подготовке к выполнению лабораторных работ по молекулярной физике // Вестник Марийского государственного университета. 2018. Т. 12, № 1. С. 49-53.
5. Рыкова Е.В., Вербовский Г.Д., Кудрявцев Д.Н., Угрюмов И.С. Привлечение студентов младших курсов к модернизации лабораторного практикума по физике как способ формирования профессиональных компетенций // Филологические и социокультурные вопросы науки и образования: сборник материалов IV Международной научно-практической очно-заочной конференции (г. Краснодар, 25 октября 2019 г.). Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2019. С. 1287-1292.
6. Белянин В.А., Кречетова И.В. Командная работа студентов-бакалавров технических специальностей по составлению и решению физических задач // Школа будущего. 2020. № 6. С. 150-159.
7. Шахмаева К.Е. Формирование готовности к командной работе студентов технического вуза в процессе профессиональной подготовки: автореф. дис. ... канд. пед. наук. Магнитогорск, 2019. 26 с.
8. Гогелашвили Г.Ш., Гордеев М.Е., Красильникова С.В., Кречетова И.В., Ладычук Д.В., Целищева Л.В. Квантовая и ядерная физика: лабораторный практикум. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2018. 118 с.
9. Козлов В.И. Антология общего физического практикума. Часть 5. Атомная и ядерная физика. М.: Физический факультет МГУ, 2014. 170 с.
10. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология научного исследования. М.: Либроком, 2009. 280 с.