

УДК 004.94

СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ИНЖЕНЕРИИ

Н.Е. Сидоров^{1,*}, Е.Б. Весна^{2,**}, К.В. Клыгина^{1,***},
Ю.А. Панебратцев^{1,****}, Г.В. Тихомиров^{2,*****}

¹Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, 141980, Россия,

²Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, 115409, Россия

*e-mail: nikita@jinr.ru

**e-mail: ebvesna@mephi.ru

***e-mail: klygina@jinr.ru

****e-mail: yuri@intergraphics.ru

*****e-mail: gvtikhomirov@mephi.ru

Поступила в редакцию 10.11.2023

После доработки: 22.11.2023

Принята к публикации: 28.11.2023

В современных условиях процесс обучения происходит в различных формах. Наряду с традиционными формами обучения развиваются и новые формы дистанционного и смешанного обучения. Возможности современных информационных технологий позволяют широко использовать онлайн-курсы, специализации, разработанные в различных университетах и ведущих компаниях, развивающих новые технологии. Обучение приобрело международный характер. Большое значение приобрели различные платформы массовых открытых онлайн-курсов (МООК), в том числе и Национальная платформа открытого образования. Многие курсы по современной ядерной физике и инженерии разрабатываются в сотрудничестве с ведущими научными центрами и Госкорпорацией «Росатом». В статье представлена информация о сотрудничестве крупного международного научного центра Объединенного Института ядерных исследований и Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» при участии университетов Болгарии, Монголии, Вьетнама, Египта, Сербии и ЮАР. Такое сотрудничество направлено на создание открытой информационной и образовательной среды для поддержки фундаментальных и прикладных исследований, онлайн-курсов для международных и национальных платформ, виртуальных лабораторных практикумов по ядерной физике и ядерной электронике. Наряду с онлайн-обучением в статье приводятся данные по организации исследовательских практик и мастер-классов для студентов и школьников старших классов из разных стран, в том числе из Египта, Мексики, Индии, Вьетнама, ЮАР. Несмотря на то, что учебные материалы по ядерной физике и связанным с ней технологиям востребованы относительно узким кругом студентов и молодых специалистов, наш анализ использования курсов показал, что они имеют широкую аудиторию в мире, в том числе в странах, сотрудничающих с ОИЯИ, НИЯУ МИФИ и Госкорпорацией «Росатом». Разработанные виртуальные лабораторные практикумы по основам экспериментальной ядерной физики уже используются в университетах многих стран мира.

Ключевые слова: онлайн-курс; ядерная физика; виртуальная лаборатория; практический практикум; материаловедение; науки о жизни.

DOI: 10.26583/vestnik.2023.291

ВВЕДЕНИЕ

Ядерная физика – одна из самых сложных областей современной науки, поэтому для подготовки специалистов нужны годы учебы и практики. Между тем, ядерная физика и ядерные технологии уже стали неотъемлемой частью нашей жизни: ядерная энергетика, ядерная медицина, ядерные технологии в археологии, геологии, экологии, планетологии и астробиологии. С одной стороны, потребность в специалистах в этих областях растет на разных континентах. С другой стороны, круг исследо-

вательских центров и университетов, разрабатывающих ядерные технологии, весьма ограничен. При этом, новейшие результаты таких исследований должны своевременно внедряться в учебный процесс. Необходимо, чтобы в создании учебных материалов участвовали ученые и инженеры, принимающие непосредственное участие в этих фундаментальных и прикладных исследованиях [1].

Например, сегодня во всем мире большое внимание уделяется переходу на новые безуглеродные источники энергии. В перспективе развитие ядерно-физических технологий по-

зволит создать экологически чистые ядерные (замкнутый ядерный цикл) и термоядерные источники энергии.

Стоит отметить, что до сих пор все крупные исследовательские проекты являются международными и разрабатываются в международных исследовательских центрах, с которыми сотрудничают национальные университеты. Это Европейская организация по ядерным исследованиям (ЦЕРН, Женева), которая в настоящее время продолжает сотрудничество с Россией, Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна) и проект Международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР в Исследовательском центре Кадараш (Франция) с участием Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Как правило, исследовательские центры участвуют в университетском образовании, организуя различные студенческие практики, летние школы и конференции, а также предоставляют студентам возможность реализовать свои первые исследовательские проекты [2].

В данной статье мы хотели бы представить результаты сотрудничества Международного научного центра ОИЯИ с Национальным исследовательским ядерным университетом «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), Научно-исследовательским центром iThemba LABS (ЮАР), Софийским университетом им. Св. Климента Охридского (Болгария), Институтом ядерной физики и энергетики Болгарской академии наук (Болгария), Университетом города Нови-Сад (Сербия) и Центром естественного образования NEMDA (Израиль) в области создания открытой информационной и образовательной среды для изучения ядерной физики и смежных технологий.

Объединенный институт ядерных исследований – международный научный центр, объединяющий 16 государств-членов и пять ассоциированных членов, где построены и строятся уникальные базовые установки и проводятся исследования по наиболее актуальным научным направлениям. К таким направлениям относятся исследования конденсированного состояния вещества в импульсном реакторе на быстрых нейтронах; поиск новых сверхтяжелых элементов; исследования в области астробиологии, ядерной планетологии и физики нейтрино. В настоящее время в Дубне строится сверхпроводящий коллайдер релятивистских ядер NICA, предназначенный для изучения сверхплотной ядерной материи.

НИЯУ МИФИ – ведущий инженерно-физический вуз России, осуществляющий подготовку по следующим направлениям:

- «Ядерная физика и технологии»;
- «Лазерные и плазменные технологии»;
- «Инженерная физика для биомедицины»;
- «Нанотехнологии в электронике, спинтронике и фотонике»;
- «Интеллектуальные киберсистемы и кибербезопасность»;
- «Бизнес-информатика и управление сложными системами».

НИЯУ МИФИ имеет 14 филиалов в различных городах Российской Федерации, филиалы в Республике Узбекистан и Республике Казахстан. В Университете обучаются более 12 тысяч студентов, из них около 1500 – иностранцы. НИЯУ МИФИ поддерживает партнерские отношения с более чем 90 университетами и организациями из 25 стран мира. С 2016 года НИЯУ МИФИ активно занимается разработкой онлайн-курсов для MOOC-платформ.

Свыше 30 лет в ОИЯИ действует Учебно-научный центр, организующий работу со студентами различных вузов, в том числе студентами НИЯУ МИФИ. В состав Учебно-научного центра ОИЯИ входят базовые кафедры НИЯУ МИФИ. Несколько лет назад сотрудничество ОИЯИ и НИЯУ МИФИ приобрело новый виток – это совместная разработка онлайн-курсов и других интерактивных мультимедийных инструментов обучения. Разработанные учебные материалы в зависимости от их назначения были размещены на международных и национальных MOOC-платформах, на образовательных порталах ОИЯИ и НИЯУ МИФИ. Это позволило расширить географию и сделать новые учебные материалы доступными не только для студентов вузов России и государств-партнеров, но и всего мира. Информация, ранее полученная с платформ Coursera и edX, позволила сделать вывод о том, что к разработанным курсам проявили интерес более 300 000 студентов из более чем 100 стран.

Возможно, этот интерес вызван тем, что тесное сотрудничество ученых и инженеров исследовательских центров, профессоров вузов, методистов, дизайнеров и программистов позволяет создавать принципиально новые учебные ресурсы, сочетающие преимущества традиционного подхода к обучению с преимуществами современных информационных и коммуникационных технологий.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ НИЯУ МИФИ

На сегодняшний день Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» имеет несколько направлений развития ресурсов электронного обучения:

- разработка онлайн-курсов и специализаций для международных MOOC-платформ;
- разработка онлайн-курсов для Национальной платформы открытого образования и платформы «Универсариум»;
- развитие Образовательного портала НИЯУ МИФИ, включающего как открытые образовательные ресурсы, так и курсы электронного обучения для студентов НИЯУ МИФИ, обучающихся не только в Москве, но и в филиалах Университета;
- участие в развитии Платформы киберобучения для ядерного образования и подготовки кадров CLP4NET (МАГАТЭ);
- разработка совместных (сетевых) образовательных программ;
- разработка виртуальных лабораторий;
- развитие Сетевой школы НИЯУ МИФИ;
- разработка сайта Международных олимпиад НИЯУ МИФИ для студентов, аспирантов и стажеров.

В качестве примеров совместной работы НИЯУ МИФИ с различными партнерами можно привести следующие онлайн-курсы:

- «Ускорительный комплекс NICA – проект класса мегасайенс» (совместно с ОИЯИ);

- «Физика тяжелых ионов» (совместно с ОИЯИ);

- «Fundamentals of Modern Russian-designed NPPs with VVER-12002 (совместно с АО «Росатом Сервис»);

- «Construction and operation of pumps for nuclear power plants» (совместно с Ивановским государственным энергетическим университетом).

В качестве примеров приведем следующие курсы НИЯУ МИФИ различной направленности со статистикой их использования студентами различных стран мира:

- общеобразовательный курс «Элементы атомной и ядерной физики» (рис. 1);
- спецкурс «Основы физики ядерных реакторов» (рис. 2).

Курс «Основы физики ядерных реакторов» на английском языке за два года собрал более 20 000 слушателей из более чем 20 стран мира. Наибольшее число студентов, прослушавших курс, было из Индии, США, Бангладеша, Российской Федерации, Филиппин, Египта, Мексики, Бразилии, Пакистана. Отметим, что в списке стран присутствуют государства, сотрудничающие с Госкорпорацией «Росатом», что является свидетельством о том, что в этих странах ведется подготовка кадров для взаимовыгодного международного сотрудничества в области ядерной физики и смежных технологий;

- обзорный курс «Физика как глобальный проект» (рис. 3);

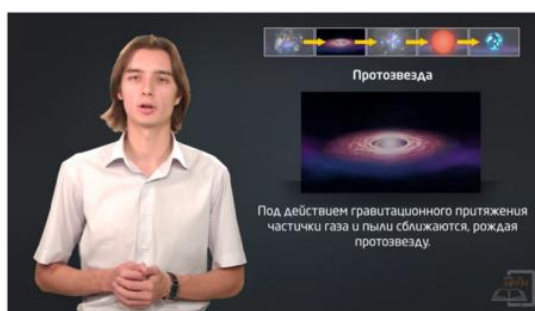
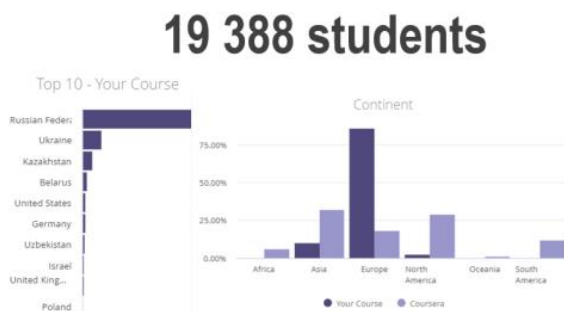
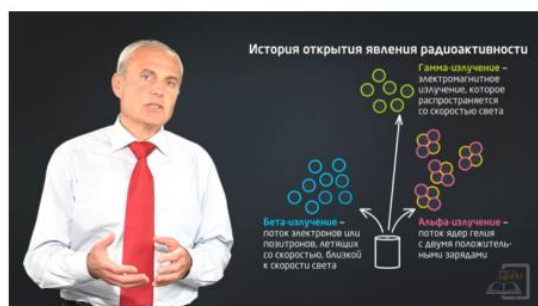


Рис. 1. Статистика курса «Элементы атомной и ядерной физики»

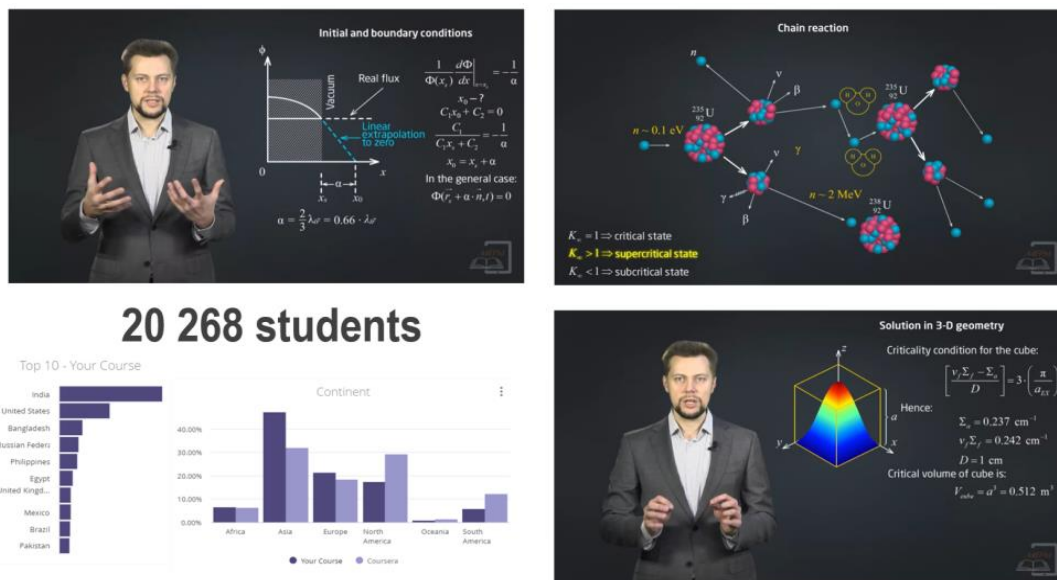


Рис. 2. Статистика курса «Основы физики ядерных реакторов»

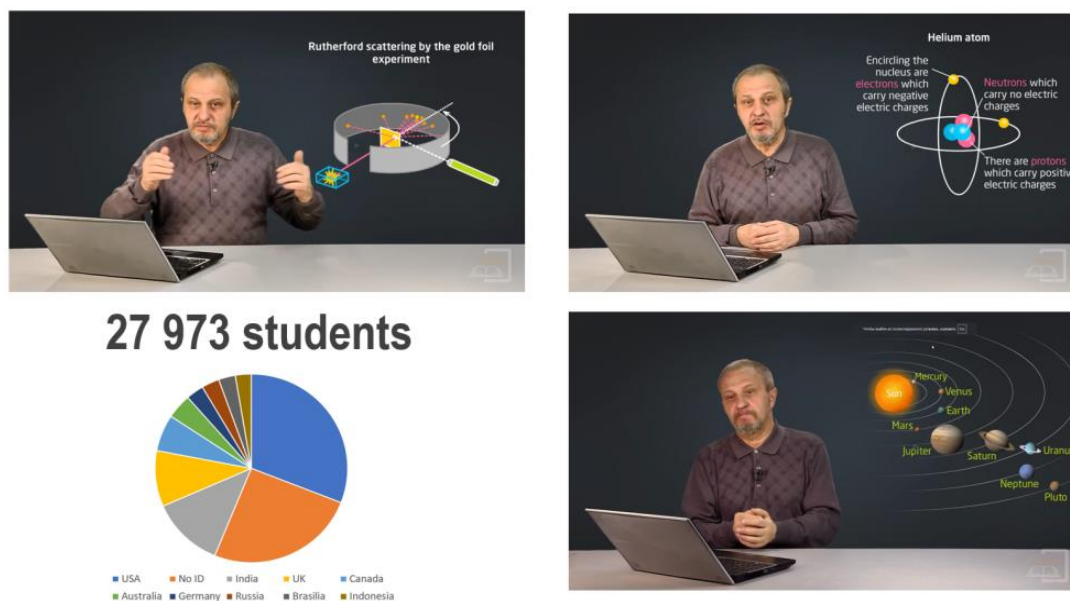


Рис. 3. Статистика курса «Физика как глобальный проект»

• общеобразовательный курс инженерной направленности «Изобретения, изменившие мир» (рис. 4);

• спецкурс для иностранных студентов «Русский язык для иностранных студентов, изучающих ядерную физику и технологии» (рис. 5).

Специалистами, преподающими на кафедрах различных подразделений МИФИ, разработаны следующие курсы:

- «Основы управления проектами в современной бизнес-среде»;
- «Мощные лазеры и лазерный термоядерный синтез»;
- «Лазеры: физические основы и лазерные технологии»;

- «Методы анализа поверхности»;
- «Введение в современные нанотехнологии»;
- «Строение биологических тканей для моделирования в биомедицинской физике»;
- «Физические основы квантовой информатики»;
- «Основы квантовой криптографии»;
- «Математические и инструментальные методы машинного обучения»;
- «Коммерциализация технологий в промышленном комплексе»;
- «Теория и практика эффективной коммуникации».

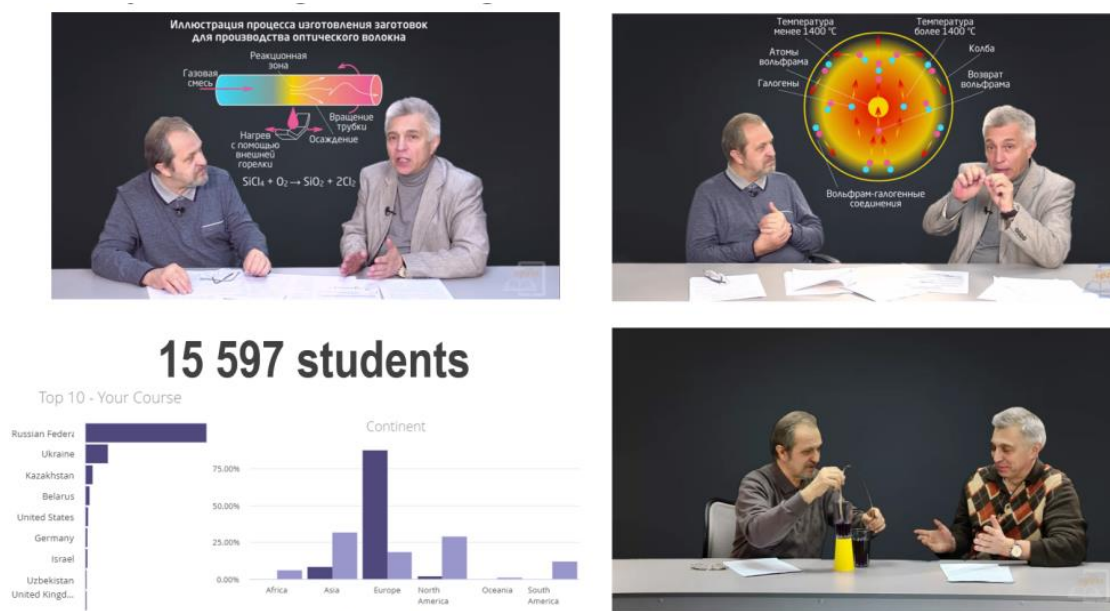


Рис. 4. Статистика курса «Изобретения, изменившие мир»

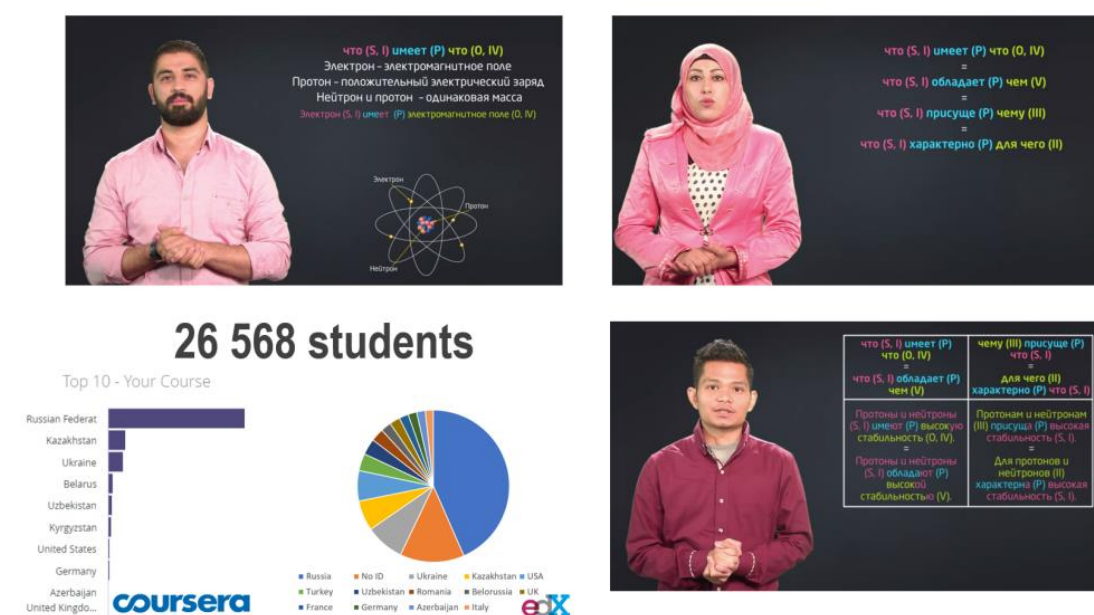


Рис. 5. Статистика курса «Русский язык для иностранных студентов, изучающих ядерную физику и технологии»

В 2020 г. НИЯУ МИФИ совместно с ОИЯИ подготовил курс «Ускорительный комплекс NICA – проект класса мегасайенс». Курс состоит из восьми модулей, разработанных ведущими специалистами Объединенного института ядерных исследований и НИЯУ МИФИ, которые рассказывают о проектах класса мегасайенс, ускорителях частиц и новом ускорительном комплексе NICA (Nuclotron based Ion Collider FAcility).

Этот мегапроект имеет важное значение для реализации прикладных и фундаментальных исследований в области ядерной физики. Пройдя курс, студенты узнают о шагах,

которые предпринимают ученые для создания в лабораторных условиях и затем изучения особого состояния материи – кварк-глюонной плазмы, в котором находилась наша Вселенная в первые мгновения после Большого взрыва. НИЯУ МИФИ принимает активное участие в проекте NICA и разрабатывает различные компоненты этого ускорительного комплекса. Многие разработчики этого проекта являются выпускниками НИЯУ МИФИ. В Учебно-научном центре ОИЯИ действует базовая кафедра НИЯУ МИФИ, предлагающая программу по подготовке специалистов для проекта NICA. Этот курс включен в учебную программу.

После прохождения курса слушатели получают следующие знания:

- основы проектирования крупных научных комплексов;
- основы структуры и задачи комплекса NICA;
- основы использования криогенных технологий в физике высоких энергий;
- основы устройства сверхпроводящих магнитов.

В НИЯУ МИФИ разработаны несколько специализаций. Одна из них – «Правовые основы и базы данных в ядерной отрасли». Цель данной специализации – предоставление студентам структурированных знаний в области правовых основ и баз данных атомной отрасли, технологии поиска информации о физических характеристиках радиоактивных распадов и различных ядерных реакций.

Данная специализация фокусируется на основных направлениях и проблемах, которые необходимо решить при анализе и разработке правового регулирования атомной энергетики [3]. Кроме того, студенты смогут понять передовые концепции ядерного права, узнать, почему управление знаниями имеет важное значение для обеспечения безопасной и эффективной эксплуатации атомной энергетики [4], ознакомиться с вопросами ядерного нераспространения [5].

Данная специализация необходима студентам, изучающим ядерную физику и смежные технологии, инженерам, программистам, ученым, желающим повысить свою квалификацию. Хотя специалитет посвящен правовым основам атомной отрасли, авторы адресуют его слушателям, не имеющим юридического образования.

Указанная специализация состоит из пяти курсов:

«Введение в международное ядерное право»

Этот курс охватывает наиболее фундаментальные области и вопросы, которые необходимо решать при анализе и разработке правовой базы такой сложной технологии, как ядерная энергетика [6]. Ядерная энергия открывает широкие перспективы для получения значительных выгод в самых разных областях: от медицины и сельского хозяйства до энергетики и промышленности. В то же время общеизвестно, что атомная энергетика представляет серьезную угрозу здоровью и безопасности людей и окружающей среде. Эти

риски необходимо контролировать очень тщательно. Важно признать, что международно-правовые нормы регулирования атомной энергетики также являются частью национальной правовой системы государства.

Курс состоит из 6 модулей:

- Модуль 1. Международное право.
- Модуль 2. Общие принципы международного права.
- Модуль 3. Международное публичное право договоров.
- Модуль 4. Международное ядерное право.
- Модуль 5. Принципы ядерного права.
- Модуль 6. Ответственность за ядерный ущерб.

«Международное ядерное право: передовые концепции»

Первая часть этого курса посвящена требованиям к эксплуатации ядерной установки – первоначальному процессу лицензирования и последующему непрерывному нормативному контролю. Далее рассматриваются международная система радиологической защиты и правовая база ядерной безопасности [7], транспортировки и трансграничного перемещения ядерных материалов [8]. Наконец, обсуждаются вопросы незаконного оборота ядерных материалов и ядерного терроризма.

Курс включает в себя 6 модулей:

- Модуль 1. Ядерные объекты.
- Модуль 2. Регулирующий орган и его функции.
- Модуль 3. Международная система радиационной защиты.
- Модуль 4. Транспортировка ядерных и радиоактивных материалов.
- Модуль 5. Защитные меры, экспортный и импортный контроль.
- Модуль 6. Экспортно-импортный контроль и физическая защита.

«Управление ядерными знаниями»

В этом курсе студенты получают сведения о том, что такое ядерные знания, почему так важно их эффективно использовать и сохранять. Например, старшее поколение специалистов уходит на пенсию, страны расширяют свои ядерные программы, стареющие ядерные установки могут столкнуться с проблемами безопасности, существует растущая потребность в долгосрочном хранении радиоактивных

отходов. В курсе также объясняется, как использовать, передавать и сохранять знания для будущего развития ядерной энергетики [9].

Курс рассчитан не только на студентов атомных специальностей, но и на сотрудников организаций, работающих в сфере мирного использования атомной энергии. Этот курс разработан с учетом рекомендаций Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и на основе публикаций МАГАТЭ по управлению ядерными знаниями.

Курс состоит из 8 модулей:

- Модуль 1. Концепции знаний с введением в ядерные знания.
- Модуль 2. Управление знаниями (УЗ): история и развитие.
- Модуль 3. Управление знаниями в ядерной науке и технике.
- Модуль 4. Управление неявными знаниями.
- Модуль 5. Управление ядерной информацией.
- Модуль 6. Управление ядерными знаниями. Организационные проблемы.
- Модуль 7. Внедрение управления знаниями в ядерных организациях.
- Модуль 8. Оценка зрелости управления ядерными знаниями.

***«Нераспространение ядерного оружия:
правовые аспекты,
основа национальных гарантий»***

Этот курс знакомит студентов с режимом нераспространения ядерного оружия, включая правовые аспекты деятельности в области ядерной энергетики. Освещены основы национального режима нераспространения ядерного оружия в Российской Федерации. Также рассматриваются вопросы гарантий ядерного нераспространения, в том числе нормативно-технические аспекты деятельности, связанной с обращением с ядерными материалами [10]. Большое внимание уделяется учету, контролю и безопасности ядерных материалов на объектах ядерного топливного цикла [11, 12].

Курс состоит из 7 модулей:

- Модуль 1. Атомная энергетика и технологии двойного назначения.
- Модуль 2. Режим нераспространения ядерного оружия.
- Модуль 3. Договор о нераспространении ядерного оружия (ДНЯО).

– Модуль 4. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и гарантии безопасности.

– Модуль 5. Нормативно-правовая база безопасного обращения с ядерными материалами.

– Модуль 6. Государственная система учета и контроля ядерных материалов.

– Модуль 7. Основные учетные процедуры. Измерения ядерных материалов в целях учета и контроля.

***«Ядерные данные. Система визуализации
ядерных данных JANIS»***

Занимаясь различными физическими расчетами и моделированием в области физических процессов, мы имеем дело с ядерными данными. Если нет данных о свойствах веществ или нуклидов, существующие модели, даже самые лучшие, не смогут адекватно описать реальность.

Это краткий практический курс, посвященный ядерным данным (рис. 6). К настоящему времени накопилось много данных по характеристикам радиоактивных изотопов и их распадов, а также данных по различным ядерным реакциям. Они сосредоточены в различных системах. Одной из таких систем является система визуализации ядерных данных JANIS (программное обеспечение ядерной информации на основе Java). На этом курсе студенты учатся работать с системой визуализации ядерных данных JANIS. Чтобы избежать необходимости установки этого программного обеспечения на персональные компьютеры, можно использовать виртуальные машины, на которых уже установлена программа.

Курс состоит из 4 модулей:

- Модуль 1. Карта нуклидов. Система иллюстрации ядерных данных JANIS.
- Модуль 2. Данные о радиоактивных распадах.
- Модуль 3. Данные о сечениях ядерных реакций.
- Модуль 4. Данные о реакции деления (осколки деления, запаздывающие нейтроны).

Всего было создано свыше семидесяти онлайн-курсов, которые были размещены на международных и национальных платформах. Как уже упоминалось выше, общее число студентов превышает 300 000 человек из более чем 100 стран мира. Это свидетельствует о том, что работа, выполняемая НИЯУ МИФИ, востребована.

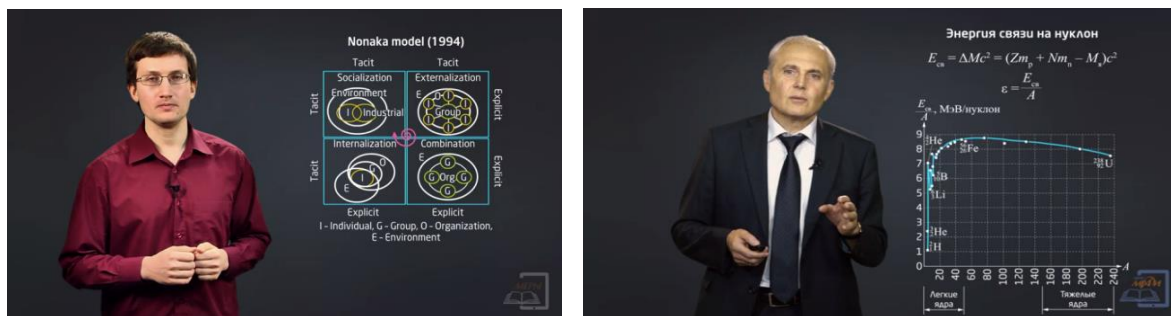


Рис. 6. Курсы «Управление ядерными знаниями» и «Ядерные данные». Система визуализации ядерных данных JANIS»

ОНЛАЙН-КУРСЫ ОТКРЫТОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОИЯИ

ОИЯИ всегда уделял большое внимание различным образовательным проектам. В последние несколько лет на базе Учебно-научного центра ОИЯИ развивается проект по созданию Открытой информационной и образовательной среды для поддержки фундаментальных и прикладных мультидисциплинарных исследований ОИЯИ. Сайт проекта – <https://edu.jinr.ru> [13].

Цели проекта:

1. Использование современных образовательных технологий для подготовки студентов университетов и повышения квалификации специалистов для работы в ОИЯИ.

2. Привлечение талантливой молодежи из стран-участниц и стран, сотрудничающих с ОИЯИ, к участию в исследовательских проектах Института.

3. Внедрение результатов в области фундаментальных и прикладных исследований, полученных в ОИЯИ, в образовательный процесс в странах-участницах и ассоциированных членах ОИЯИ. Расширение географии сотрудничества.

4. Сотрудничество с ведущими мировыми научными центрами и университетами в области создания образовательных ресурсов для учителей физики и школьников старших классов.

5. Повышение узнаваемости фундаментальных и прикладных мультидисциплинарных исследований, которые ведутся в ОИЯИ, и бренда ОИЯИ среди широкой аудитории. Размещение курсов, подготовленных ведущими специали-

стами ОИЯИ на международных платформах открытого образования.

6. Создание образовательного и выставочного контента по тематике ОИЯИ на уровне ведущих научных центров.

В рамках проекта решаются задачи в следующих направлениях:

- информационная поддержка основных направлений фундаментальных и прикладных исследований в ОИЯИ;

- создание онлайн-курсов и новых образовательных программ по тематике деятельности Института на современных образовательных платформах;

- развитие проекта по созданию виртуальных, дистанционных и лабораторных практикумов для изучения ядерной физики и ее прикладных направлений;

- развитие выставочной деятельности о достижениях ОИЯИ и современной науки в РФ и странах, сотрудничающих с ОИЯИ;

- создание мультимедийных ресурсов и веб-решений для поддержки информационных центров ОИЯИ;

- создание электронных учебных материалов и исследовательских лабораторных работ для школьников в целях изучения физики и биологии на углубленном уровне в школе.

На рис. 7 приведены примеры названий некоторых онлайн-курсов от ведущих ученых ОИЯИ.

Следует отметить, что при создании курсов необходимые видеосъемки проводились непосредственно на экспериментальных установках – фабрике сверхпроводящих магнитов и в криогенном центре ускорительного комплекса NICA.

Специалисты ОИЯИ, представители университетов стран-партнеров ОИЯИ принимают активное участие в создании образовательного контента для онлайн-курсов [14].

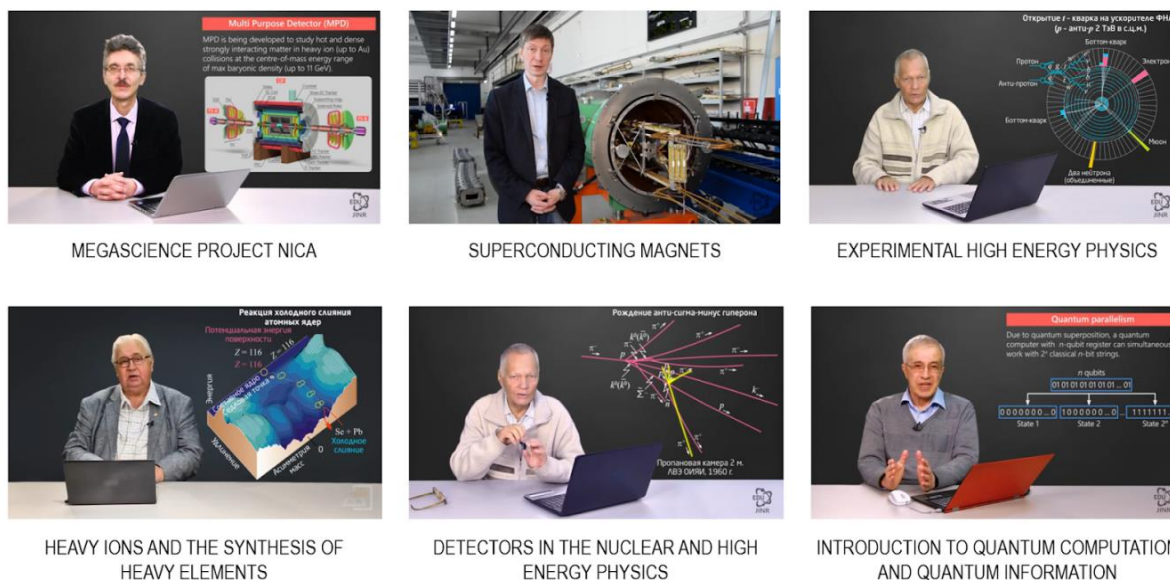


Рис. 7. Примеры онлайн-курсов, опубликованных на Образовательном портале ОИЯИ

Одним из последних результатов является размещение на Образовательном портале ОИЯИ цикла лекций «Синтез сверхтяжелых элементов» выпускника МИФИ – академика Юрия Цолаковича Оганесяна. В них Ю.Ц. Оганесян рассказывает о происхождении ядер и атомов во Вселенной, различных подходах к искусственному синтезу элементов тяжелее урана, существовании так называемого «Острова стабильности», а также о перспективах получения новых ядер на ускорительном комплексе – фабрике сверхтяжелых элементов. Цикл из пяти лекций состоит из следующих разделов:

1. Введение;
2. Экспериментальные подходы к проверке теоретических предсказаний;
3. Организация эксперимента;
4. Результаты экспериментов;
5. Новые возможности.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОЕКТ «ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ» КАК СОВРЕМЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Эксперименты всегда были неотъемлемой частью изучения физики. Они являются одним из наиболее эффективных способов получить знания в такой области исследований, как ядерная физика. При этом, необходимо учитывать, что многие эксперименты связаны с работой с радиоактивным излучением, что пред-

ставляет определенные ограничения и в школьном, и в университетском образовании. Некоторым университетам сложно организовать качественный практикум по ядерной физике в связи с отсутствием соответствующего оборудования из-за его достаточно высокой стоимости, особенно если речь идет о современных детекторах [15].

Проект «Виртуальная лаборатория для изучения ядерной физики» (рис. 8) развивается с 2015 г. Целью проекта является включение реальных экспериментальных данных в образовательный процесс, проведение виртуальных и дистанционных лабораторных исследований с использованием современного научного оборудования и данных, полученных с реальных физических установок.

Первоначально целью этого проекта было создание программно-аппаратного комплекса для подготовки специалистов из ЮАР для эксперимента LIS по изучению спонтанного деления, проводимого в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Виртуальная лаборатория ядерного деления включает в себя учебные материалы и виртуальные практикумы как по основам работы с ядерно-физическим оборудованием (осциллографы, детекторы, система сбора данных), так и по основам работы с реальными экспериментальными данными, полученными с установки LIS [16].

В дополнение к лабораторным работам были разработаны и учебные курсы по экспериментальной ядерной физике для студентов с разным уровнем подготовки (базовый и углубленный уровень).

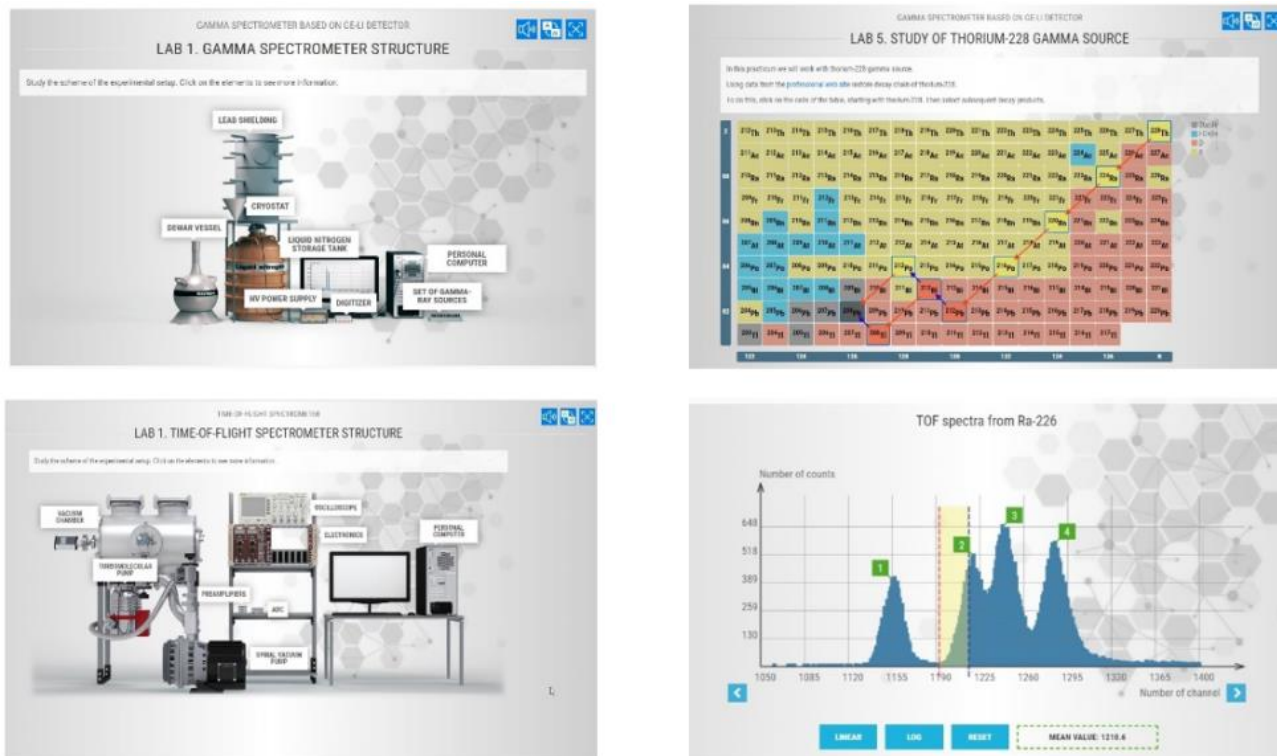


Рис. 8. Фрагменты виртуальных работ проекта «Виртуальная лаборатория для изучения ядерной физики»

На сегодняшний день проект развивается по следующим направлениям:

1. Онлайн-курс и учебное пособие «Введение в экспериментальную ядерную физику и ядерную электронику»;
2. Лаборатория ядерного деления;
3. Лаборатория гамма-спектрометрии;
4. Лаборатория анализа данных в ROOT;
5. Лаборатория детекторов и обработки данных;
6. Hands-on практикум.

Сейчас все эти результаты проекта используются в образовательном процессе университетов более 30 стран (рис. 9).

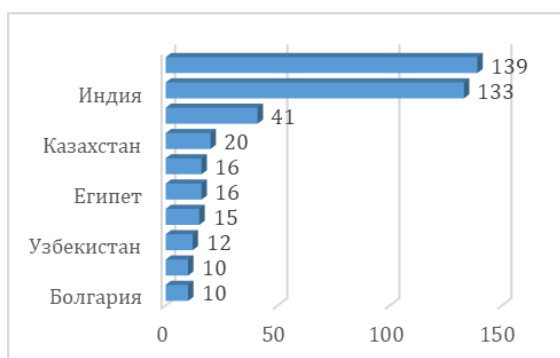


Рис. 9. Зарегистрированные пользователи сайта проекта «Виртуальная лаборатория для изучения ядерной физики»

Материалы проекта использовались при проведении практик и мастер-классов по экспериментальной ядерной физике для школьников и студентов из разных стран (рис. 10), в том числе России, Израиля, Египта, Германии, Чехии, Вьетнама, Сербии, Болгарии и ЮАР [17]. По итогам таких мероприятий мы получили много полезных отзывов и положительных эмоций как от преподавателей, так и от учеников.

Опыт разработки данного проекта доказал, что его результаты востребованы как в университетской среде, так и в качестве дополнительного учебного материала для старшеклассников. Многие из разработанных виртуальных лабораторных работ включены в учебные программы вузов-участников проекта. Думаем, это связано с тем, что нам удалось выйти за рамки стандартного набора тем лабораторных работ, создать свои работы на основе реальных данных и современных детекторов, а также в рамках одного проекта интегрировать приобретение новых навыков как в области проведения эксперимента, так и в области обработки данных.



Рис. 10. Лабораторные практикумы в ОИЯИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сотрудничество международной научной организации Объединенного института ядерных исследований и Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» позволило создать основы открытой информационно-образовательной среды в одной из наиболее актуальных областей знаний – фундаментальной и прикладной ядерной физике.

Расширяется сотрудничество на международном уровне, появляются новые партнеры. Полученные результаты в дальнейшем могут быть внедрены в образовательную деятельность Международного научно-образовательного центра атомных и смежных технологий, который призван стать «хабом» для иностранных студентов и специалистов в целях профессиональной подготовки и дальнейшего карьерного развития не только для атомной, но и для других высокотехнологичных отраслей, научно-образовательным интегратором компетенций и возможностей НИЯУ МИФИ, опорных вузов Росатома, Технической Академии Росатома и других научно-исследовательских организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Belaga V.V., Dolgy E.V., Klygina K.V. et al. Online courses at international and national platforms and the possibility of creating a digital educational envi-

ronment for megaprojects // Journal of Physics Conference Series, 2019. V. 1406(1). 012004. DOI: 10.1088/1742-6596/1406/1/012004

2. Belaga V.V. et al. JINR Educational Portal («edu.jinr.ru») – Open Educational Resources and Modern Visualization Tools // Proceedings of the 27th Symposium on Nuclear Electronics and Computing. Budva, Becici, Montenegro. P. 261–265.

3. Бушнев А.В., Гераскин Н.И. и др. Основы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов. М.: МИФИ, 2007.

4. Geraskin N.I et al. Knowledge management in nuclear organizations, Moscow: NRNU MEPhI, 2015.

5. Орлов В.А. Ядерное нераспространение: Учебное пособие для вузов. М.: ПИР-Центр, 2002. 528 с.

6. IAEA. Convention on Nuclear Safety. Legal Series no. 16, Vienna: International atomic energy agency, 1994. 110 p.

7. IAEA. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. Vienna: International atomic energy agency, 1997.

8. IAEA. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material-2012 Edition. IAEA Safety Standards Series No. SSR-6, Vienna: IAEA, 2012. 168 p.

9. IAEA. Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations. Vienna: IAEA-TECDOC-1675, 2012. 74 p.

10. Крючков Э.Ф. и др. Технические аспекты ядерного нераспространения. М.: НИЯУ МИФИ, 2010.

11. Глебов В.Б., Измайлов А.В., Румянцев А.Н. Основы учета, контроля и физической защиты ядерных материалов. М.: МИФИ, 2001.

12. Бондарев П.В., Измайлов А.В., Толстой А.И. Физическая защита ядерных объектов: Учебное пособие для вузов // Под ред. Н.С. Погожина. М.: НИЯУ МИФИ, 2008. 584 с.

13. Belaga V.V. *et al.* Multimedia educational resources for the JINR activities and achievements popularization // International Scientific – Practical Conference «INFORMATION INNOVATIVE TECHNOLOGIES». Prague, Czech Republic, 2017. P. 100–105.

14. Belaga V.V. *et al.* New Results from Colliders and Accelerators for School Teachers and School Students // The 15th annual international conference on Hands-on Science, HSCI2018, Barcelona, Catalonia, Spain, 2018. P. 99–101.

15. Belaga V.V. *et al.* Virtual laboratory of nuclear fission, a new pedagogical tool for student training in

experimental nuclear physics// International Conference on Hands-on Science: Growing with Science, HSCI2017. Braga, Portugal, 2017. P. 157.

16. Agakishiev G. *et al.* Hardware-Software Complex «Virtual Laboratory of Nuclear Fission» – Integration of Virtuality, Modern Equipment and Real Experimental Data // International Conference on Hands-on Science: Brightening our future, HSCI2015. Madeira Island, Portugal, 2015.

17. Averichev G. *et al.* Virtual Laboratory – Virtual Educational Tools and Hands-On Practicum // Proceedings of the 27th Symposium on Nuclear Electronics and Computing, Budva, Becici, Montenegro, 2019. P. 464–468.

Vestnik Natsional'nogo issledovatel'skogo yadernogo universiteta «MIFI», 2023, vol. 12, no. 6, pp. 339–351

E-LEARNING TOOLS FOR NUCLEAR PHYSICS AND ENGINEERING

N.E. Sidorov^{1,*}, E.B. Vesna^{2,**}, K.V. Klygina^{1,***}, Yu.A. Panebrattsev^{1,****}, G.V. Tikhomirov^{2,*****}

¹Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, 141980, Russia

²National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, 115409, Russia

*e-mail: nikita@jinr.ru

**e-mail: ebvesna@mephi.ru

***e-mail: klygina@jinr.ru

****e-mail: yuri@intergraphics.ru

*****e-mail: gvtikhomirov@mephi.ru

Received November 10, 2023; revised November 22, 2023; accepted November 28, 2023

Nowadays, the learning process occurs in different forms, with traditional methods of learning being supplemented and replaced with new online and blended learning formats. The capabilities of modern information technologies make it possible to widely use online courses and specializations produced at numerous universities and leading companies that develop new technologies. E-Learning has become an international trend. Various Massive Open Online Course (MOOC) platforms have become very important, including the National Open Education Platform developed in the Russian Federation. Many modern nuclear physics and engineering courses are developed in collaboration with leading scientific centers and the State Atomic Energy Corporation Rosatom (ROSATOM). This article provides information about the successful cooperation of the large international, intergovernmental scientific center, the Joint Institute for Nuclear Research (JINR), and the National Research Nuclear University «MEPhI» (NRNU MEPhI) with the participation of universities of Bulgaria, Mongolia, Vietnam, Egypt, Serbia and the Republic of South Africa. Such cooperation is aimed to provide an open information and educational environment of fundamental and applied research support, online courses for national and international platforms, and virtual laboratory workshops in nuclear physics and nuclear electronics. In addition to information about e-learning, this article talks about research practices and master class organization for high school students and schoolchildren from different countries, including Egypt, Mexico, India, Vietnam, and the Republic of South Africa. Despite the fact that educational courses about nuclear physics and related technologies are used by a relatively small circle of students and young professionals, our analysis shows that they have a wide audience around the world, including countries that collaborate with JINR, NRNU MEPhI, and ROSATOM. Virtual laboratory workshops dedicated to the basics of experimental nuclear physics are already used at universities in many countries worldwide.

Keywords: online course; nuclear physics; virtual laboratory; hands-on practicum; materials science; life sciences.

REFERENCES

1. *Belaga V.V., Dolgy E.V., Klygina K.V. et al.* Online courses at international and national platforms and the possibility of creating a digital educational environment for megaprojects. *Journal of Physics Conference Series*, 2019. Vol. 1406(1), 012004. DOI: 10.1088/1742-6596/1406/1/012004
2. *Belaga V.V. et al.* JINR Educational Portal («edu.jinr.ru») – Open Educational Resources and Modern Visualization Tools. *Proceedings of the 27th Symposium on Nuclear Electronics and Computing*. Budva, Becici, Montenegro. Pp. 261–265.
3. *Bushuev A.V., Geraskin N.I. et al.* *Osnovy ucheta, kontrolya i fizicheskoy zashchity yadernyh materialov*. [Fundamentals of accounting, control and physical protection of nuclear materials]. Moscow, NRNU MEPhI Publ., 2007 (in Russian).
4. *Geraskin N.I. et al.* *Knowledge management in nuclear organizations*. Moscow, NRNU MEPhI, 2015.
5. *Orlov V.A. et al.* *Yadernoe nerasprostranenie: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Nuclear nonproliferation. Textbook for universities]. Moscow, PIR Center Publ., 2002. 528 p. (in Russian).
6. IAEA. *Convention on Nuclear Safety*. Legal Series no. 16, Vienna, International atomic energy agency, 1994. 110 p.
7. IAEA. *Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management*. Vienna, International atomic energy agency, 1997.
8. IAEA. *Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material-2012 Edition*. IAEA Safety Standards Series No. SSR-6, Vienna, IAEA, 2012. 168 p.
9. IAEA. *Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations*. Vienna, IAEA-TECDOC-1675, 2012. 74 p.
10. *Kryuchkov E.F. et al.* *Tekhnicheskie aspekty yadernogo nerasprostraneniya* [Technical aspects of nuclear non-proliferation]. Moscow, NRNU MEPhI Publ., 2010 (in Russian).
11. *Glebov V.B. et al.* *Osnovy ucheta, kontrolya i fizicheskoy zashchity yadernyh materialov* [Introduction to accounting, control and physical protection systems for nuclear materials]. Moscow, NRNU MEPhI Publ., 2001 (in Russian).
12. *Bondarev P.V., Izmajlov A.V., Tolstoj A.I. et al.* *Fizicheskaya zashchita yadernyh ob'ektov: ucheb. posobie dlya vuzov*. Pod red. N.S.Pogozhina. [Physical protection of nuclear facilities. Textbook for universities. Edited by N.S.Pogozhin]. Moscow, NRNU MEPhI Publ., 2008. 584 p. (in Russian).
13. *Belaga V.V. et al.* *Multimedia educational resources for the JINR activities and achievements popularization*. *International Scientific – Practical Conference «Information innovative technologies»*. Prague, Czech Republic, 2017. Pp. 100–105.
14. *Belaga V.V. et al.* *New Results from Colliders and Accelerators for School Teachers and School Students*. The 15th annual international conference on Hands-on Science, HSCI2018, Barcelona, Catalonia, Spain, 2018. Pp. 99–101.
15. *Belaga V.V. et al.* *Virtual laboratory of nuclear fission, a new pedagogical tool for student training in experimental nuclear physics*. *International Conference on Hands-on Science: Growing with Science, HSCI2017*. Braga, Portugal, 2017. P. 157.
16. *Agakishiev G. et al.* *Hardware-Software Complex «Virtual Laboratory of Nuclear Fission» – Integration of Virtuality, Modern Equipment and Real Experimental Data*. *International Conference on Hands-on Science: Brightening our future, HSCI2015*. Madeira Island, Portugal, 2015.
17. *Averichev G. et al.* *Virtual Laboratory – Virtual Educational Tools and Hands-On Practicum*. *Proceedings of the 27th Symposium on Nuclear Electronics and Computing*, Budva, Becici, Montenegro, 2019. Pp. 464–468.