

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Линник Оксана Владимировна  
Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ  
Дата подписания: 13.10.2022 14:19:37  
Уникальный программный ключ:  
d85fa2f259a0913da9b08799985891736470181f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Снежинский физико-технический институт -  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СФТИ НИЯУ МИФИ)»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. руководителя по учебной  
и научно-методической работе

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

\_\_\_\_\_ П.О.Румянцев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Сильноточные электрофизические установки в исследованиях по физике**  
**высоких плотностей энергии**

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность) 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки «Экспериментальная ядерная физика»

Квалификация (степень) выпускника Магистр

Форма обучения очная

г. Снежинск, 2022 г.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины *Сильноточные электрофизические установки в исследованиях по физике высоких плотностей энергии* является ознакомление студентов с практическим применением сильноточных электрофизических установок (СЭФУ) в исследованиях по физике высоких плотностей энергии (ФВПЭ).

Задача изучения дисциплины «Сильноточные электрофизические установки в исследованиях по физике высоких плотностей энергии» состоит в том, чтобы дать необходимые сведения по отдельным разделам физики для понимания процессов, происходящих в физических нагрузках СЭФУ при высоких плотностях электромагнитной энергии.

## 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина Б1.В.ДВ.08.02 «Сильноточные электрофизические установки в исследованиях по физике высоких плотностей энергии» относится к вариативной части профессионального модуля рабочего учебного плана ООП ВО по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии». Курс «Сильноточные электрофизические установки в исследованиях по физике высоких плотностей энергии» посвящен одному из важных разделов современной физики и техники, без изучения которого невозможна качественная подготовка инженеров-физиков. «Сильноточные электрофизические установки в исследованиях по физике высоких плотностей энергии» изучается на втором курсе в третьем семестре обучения.

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины:

- 2.1. Физика и техника сильноточных электрофизических установок (Б1.О.09).
- 2.2. Физика высокоинтенсивных процессов (Б1.В.ДВ.01.01)

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Компетентностная модель соответствует требованиям ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии».

В результате изучения дисциплины обучающимися должны быть освоены следующие компетенции:

ПК-3 – способен оценивать перспективы развития атомной отрасли, использовать ее современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательской деятельности;

ПК-4 – способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач;

ПК-5 – способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных технологий;

ПК-9 – способен эксплуатировать, проводить испытания и ремонт современных физических установок, выполнять технико-экономические расчеты.

В результате освоения дисциплины «Сильноточные электрофизические установки в исследованиях по физике высоких плотностей энергии» студенты должны:

Знать:

- Основные принципы работы электрофизических установок на различные физические нагрузки;
- Физические основы транспортировки электромагнитной энергии в СЭФУ к физической нагрузке;
- Критерии, характеризующие высокую плотность электромагнитной энергии в элементах установки и физической нагрузке;
- Типы лайнерных нагрузок, применяемых для исследований динамических свойств материалов;
- Исследования по термоядерному синтезу;
- Плазмодиффузионные схемы для генерации нейтронного и рентгеновского излучения;
- Многообразие z-пинчевых схем для генерации рентгеновского излучения;
- Исследование свойств «разогретого плотного вещества» (WDM);
- Основы работы датчиков импульсных токов и импульсных напряжений. Измерение амплитудно-временных профилей давления.

Уметь:

- Для проведения исследований с конкретной физической нагрузкой подобрать параметры электрофизической установки;
- Прогнозировать параметры сигнала в датчиках тока, напряжения, давления в импульсных экспериментах;
- Настраивать регистрирующую аппаратуру и вспомогательное оборудование, используемые в исследовательском эксперименте на электрофизической установке;
- Обработать сигналы с датчиков тока и напряжения.

Владеть:

- методологическими подходами к выбору схемного решения электрофизической установки в зависимости от типа и параметров физической нагрузки и требуемого энергозатрата в нее;
- навыками обращения с различного рода датчиками;
- методами математической обработки осциллографической информации.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Семестр | Трудоемкость, ЗЕТ | Общий объем курса, час. | Лекции, час. | Практич. занятия, час. | КСР, час. | СРС, час. | Форма контроля, экз./зачет |
|---------|-------------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------|-----------|----------------------------|
| 3       | 2                 | 72                      | 0            | 34                     | 0         | 38        | зачет                      |

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 ЗЕТ, 72 часов.

| № п/п            | Раздел учебной дисциплины   | Недели | Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) |                         |             | Текущий контроль успеваемости и (неделя, форма) | Аттестация раздела (неделя, форма) | Макс. балл за раздел * |
|------------------|---|--------|--|-------------------------|-------------|---|------------------------------------|------------------------|
|                  |   |        | Лекции   | Практ. занятия/семинары | Лаб. работы |   |                                    |                        |
| <b>3 семестр</b> |   |        |  |                         |             |   |                                    |                        |
| 1                | Исследования, проводимые на сильноточных электрофизических установках (СЭФУ)  | 1      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 2                | Критерии и условия высокой плотности энергии в физической нагрузке  | 2      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 3                | СЭФУ как нагружающий инструмент для исследования динамических свойств материалов  | 3      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 4                | СЭФУ как нагружающий инструмент для исследования динамических свойств материалов (продолжение)  | 4      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 5                | СЭФУ как нагружающий инструмент для исследования динамических свойств материалов (продолжение).<br>Реферативные доклады   | 5      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 6                | СЭФУ в исследованиях по термоядерному синтезу   | 6      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 7                | СЭФУ в исследованиях по термоядерному синтезу (продолжение)   | 7      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 8                | СЭФУ в исследованиях по термоядерному синтезу (продолжение).<br>Реферативные доклады  | 8      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 9                | Исследования в области получения мощных импульсов нейтронного и рентгеновского излучений на СЭФУ  | 9      |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 10               | Исследования в области получения мощных импульсов нейтронного и рентгеновского излучений на СЭФУ (продолжение).<br>Реферативные доклады   | 10     |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 11               | Проволочные z-пинчевые нагрузки для получения рентгеновского излучения  | 11     |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |
| 12               | Проволочные z-пинчевые нагрузки для получения рентгеновского излучения (продолжение).<br>Исследования в области получения сверхжесткого рентгеновского излучения.<br>Реферативные доклады | 12     |  | 2                       |             | Конспект  |                                    | 2                      |

|        |   |    |  |    |  |                       |                 |     |
|--------|---|----|--|----|--|-----------------------|-----------------|-----|
| 13     | Исследования свойств «разогретого плотного вещества» – WDM                                      | 13 |  | 2  |  | Конспект              |                 | 2   |
| 14     | Эффективность преобразования электромагнитной энергии в нагрузках в другие виды энергии         | 14 |  | 2  |  | Конспект              |                 | 2   |
| 15     | Регистрация импульсных процессов в экспериментах на СЭФУ  | 15 |  | 2  |  | Конспект              |                 | 2   |
| 16     | Регистрация импульсных процессов в экспериментах на СЭФУ (продолжение).<br>Реферативные доклады | 16 |  | 2  |  | Конспект              |                 | 2   |
| 17     | Реферативные работы   | 17 |  | 2  |  | Рефераты, презентации | Защита реферата | 18  |
| Всего: |   |    |  | 34 |  |                       |                 | 50  |
|        | Зачет   |    |  |    |  |                       |                 | 50  |
|        | Итого за 3 семестр:   |    |  |    |  |                       |                 | 100 |

### Раскрытие лекционных тем и тем практических занятий

Тема 1. Исследования, проводимые на сильноточных электрофизических установках. Сильноточные электрофизические установки (СЭФУ) и их физические нагрузки. Типы физических нагрузок СЭФУ. Параметры установок.

Тема 2. Критерии и условия высокой плотности энергии в физической нагрузке.

Критерии, характеризующие высокую плотность электромагнитной энергии в элементах установки и физической нагрузке. Условия достижения высокой плотности энергии с помощью СЭФУ.

Тема 3. СЭФУ как нагружающий инструмент для исследования динамических свойств материалов.

Исследования динамических свойств материалов при высоких давлениях лайнерами, разогнанными магнитным полем. Цельнометаллические лайнерные нагрузки СЭФУ: плоское и цилиндрическое сжатие материалов. Плоские лайнерные системы. Прямоугольная лайнерная система: коаксиал и смещенный внутренний электрод. Сжимающийся цилиндрический лайнер. Ударно-волновое и квазиизэнтропическое сжатие; исследование уравнений состояния различных веществ и материалов.

Тема 4. СЭФУ в исследованиях по термоядерному синтезу.

Термоядерные исследования. Токамак, ICE, МАГО. Цилиндрическое сжатии D и D-T смеси для получения термоядерной реакции (схема LDQIC). Схема MagLiF. Требуемые параметры сильноточной и лазерной установок.

Тема 5. Исследования в области получения мощных импульсов нейтронного и рентгеновского излучений на СЭФУ.

Схема типа плазменный фокус (ПФ). Типы используемых разрядных камер; используемые электрофизические установки. Выход нейтронного и рентгеновского излучения; параметры излучения. Способы повышения выхода нейтронов. Скейлинг для схемы типа ПФ. Причины существенного разброса выхода нейтронов. Схема быстрого радиально сжимающегося Z-пинча; используемые СЭФУ. Газовый лайнер. Малоиндуктивная вакуумная искра.

Тема 6. Проволочные z-пинчевые нагрузки для получения рентгеновского излучения. Исследования в области получения сверхжесткого рентгеновского излучения.

Однопроволочная z-пинчевая нагрузка. Многопроволочная сборка; требуемые параметры СЭФУ. Выход рентгеновского излучения. Оптимизация многопроволочной сборки. X-пинч; требуемые параметры электрофизические установки. Диодная нагрузка; используемые электрофизические установки. Сверхжесткое рентгеновское излучение диодной нагрузки.

Тема 7. Исследования свойств «разогретого плотного вещества» – WDM.

Экспериментальное определение уравнения состояния и термодинамических параметров вещества при его переходе из конденсированного состояния в плазменное («разогретое плотное вещество» – WDM). Подбор условий, позволяющих обеспечить однородный нагрев фольги. Моделирование механического действия рентгеновского излучения электровзрывом фольги. Используемые электрофизические установки.

Тема 8. Эффективность преобразования электромагнитной энергии в нагрузках в другие виды энергии. Энергетическая эффективность исследовательских сильноточных электрофизических установок. Оптимизация СЭФУ под конкретный тип физической нагрузки.

Тема 9. Регистрация импульсных процессов в экспериментах на СЭФУ.

Регистрация тока и напряжения в цепях СЭФУ и в физических нагрузках. Погрешность измерения энергии, вложенной в физическую нагрузку. Регистрация излучений. Требования к схемам измерений. Быстродействие, эффективность и динамический диапазон. Борьбы с электромагнитными наводками СЭФУ. Рентгеновская радиография. Регистрация расширения и сжатия вещества, механических воздействий и взаимодействий.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При реализации различных видов учебной работы в рамках курса предусмотрено использование следующих образовательных технологий:

1. Лекции проводятся с применением мультимедийных средств обучения в виде презентации PowerPoint, с целью в наиболее сжатом концентрированном виде сделать обзор пройденного материала с указанием взаимосвязи между разделами дисциплины, освещением основных изученных подразделов, а также для формирования у студентов общего представления о месте дисциплины в общем перечне дисциплин ООП ВО 14.04.02 «Ядерная физика и технологии» и о формируемых этой дисциплиной компетенциях.

2. Разбор задач и поиск их решения проводится в рамках практических занятий на каждой учебной неделе и в часы, отведённые на контролируруемую самостоятельную работу. Занятия проводятся в интерактивной форме общения студентов между собой при поиске метода решения поставленной задачи и оформлении решения. Преподаватель обеспечивает консультационное сопровождение процесса поиска решения. Через семинар выдается домашнее задание. Решение проверяется на каждом втором семинаре. Защита домашних заданий предусмотрена на 17 учебной неделе семестра. Приём заданий возможен как в рукописном, так и в печатном виде.

3. Один раз в три недели преподавателем проводится текущая консультация. Вопросы можно задавать лично преподавателю в назначенное время.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.**

Часы на самостоятельную работу распределяются равномерно на весь курс обучения. Разделы, выводимые на самостоятельное изучение в рамках практических разделов, устанавливаются преподавателем на каждой неделе, в зависимости от скорости усвоения материала студентами. Темы для самостоятельного изучения оглашаются преподавателем в конце каждого занятия и заносятся студентами в график самостоятельной работы.

Текущий контроль успеваемости проводится посредством проверки конспектов, рубежный контроль – защита реферативной работы.

Зачет проводится в классической форме, по билетам.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

а) основная литература:

- 1 Smirnov V.P. Fast liners for inertial fusion // *Plasma Phys. Controlled Fusion*. – 1991. – V. 33. – № 13. – P. 1697–1714.
- 2 Смирнов В.П., Захаров С.В., Грабовский Е.В. Увеличение интенсивности излучения в квазисферической системе «двойной лайнер» // *Письма в ЖЭТФ*. – 2005. – Т. 81. – Вып. 9. – С. 556–562.
- 3 Jones M.C., Ampleford D.J., Cuneo M.E. et al. X-ray power and yield measurements at the refurbished Z machine // *Review of Scientific Instruments*. – 2014. – V. 85. – P. 083501.
- 4 Gomez M.R., Gilgenbach R.M., Cuneo M.E. et al. Experimental study of current loss and plasma formation in the Z machine post-hole convolute // *Phys. Rev. Accel. Beams*. – 2017. – V. 20. – P. 010401.
- 5 Rose D.V., Welch D.R., Hughes T.P., Clark R.E., Stygar W.A. Plasma evolution and dynamics in highpower vacuum-transmission-line post-hole convolutes // *Phys. Rev. ST Accel. Beams*. – 2008. – V. 11. – P. 060401.
- 6 Stygar W.A., Reisman D.B., Stoltzfus B.S. et al. Conceptual design of a 1013-W pulsed-power accelerator for megajoule-class dynamic-material-physics experiments // *Phys. Rev. ST Accel. Beams*. – 2016. – V. 19. – P. 070401.
- 7 Вихрев В.В., Королев В.Д. Генерация нейтронов в Z-пинчах // *Физика плазмы*. 2007. – Т.33. – №5. – С.397–423.
- 8 Klir D. et al. Efficient neutron production from a novel configuration of deuterium gas-puff z-pinch. *Phys Rev Lett*. – 2014. – V.112(9). – P. 095001.
- 9 Slutz S.A., Vesey R.A. High-gain magnetized inertial fusion // *Phys. Rev. Lett*. – 2012. V.108(2). – P. 025003.
- 10 Mehlhorn T. Overview of Sandia High Energy Density Physics Program // *ZST* – 2007, Snezhinsk, 10-14 September 2007.

- 11 Lemke R.W., et al. Magnetically driven hyper-velocity launch capability at the Sandia Z accelerator // *International Journal of Impact Engineering*. – 2011. – V.38. – No 6. – P. 480-485.
- 12 Matzen M.K., Sweeney M.A., Adams R.G., Asay J.R., et al. Pulsed-power-driven high energy density physics and inertial confinement fusion research // *Phys. Plasmas*. – 2005. – 12. – P. 055503.
- 13 Bailey J.E., Chandler G.A., Mancini R.C., Slutz S.A., et al. Dynamic hohlraum radiation hydrodynamics // *Phys. Plasmas*. – 2006. – V. 13. – P. 056301.
- 14 Cuneo M.E., Vesey R.A., Porter (Jr.) J.L., Chandler G.A. Development and characterization of a Z-pinch-driven hohlraum high-yield inertial confinement fusion target concept // *Phys. Plasmas*. – V. 8. – P. 2257.
- 15 Mosher D., Stephanakis S.J., Vitkovitsky I.M., Dozier C.M., Levino L.S., Nagel D.J. // *Appl. Phys. Lett.* – 1973. – V. 23. – P. 429.
- 16 Burkhalter P., Dozier C M., Stalling C, Cowan R.D. // *J. Appl. Phys.* – 1978. – V. 49. – P. 1092.
- 17 Burkhalter R., Davis J., Rauch J., Clark W., Dahlbacka G., Wilkinson M. // *J. Appl. Phys.* – 1979. – V. 50. – P. 705.
- 18 Захаров С.М., Иваненков Г.В., Коломенский А.А., Пикуз С.А., Самохин А. И. // *Физика плазмы*. – 1987. – Т. 13. – С. 206.
- 19 Айвазов И.К., Бехтев МБ., Булан В.В. // *Физика плазмы*. – 1990. – Т. 16. – С. 645.
- 20 Porter J.L., Spielman R.B., Vargas M.E, Matzen M.K. // *Rev. Sci. Instr.* – 1992. – V. 63. – P. 5703.
- 21 Spielman R.B., Long F, Martin T.H., Poukey J.W., Seidel D.B., Shoup W., Stygar W.A., McDaniel D.H., Mostrom M.A., Struve K. W., Corcoran P., Smith I., Spence P. // *Digest Techn. Papers. 10th IEEE Int. Pulsed Power Conf., 1995. V. 1.* – P. 396.
- 22 Burkhalter P.J., Shiloh J., Fisher A., Cowan R.D. // *J. Appl. Phys.* – 1979. – V. 5. – P. 4532.
- 23 Бартник А., Иваненков Г.В., Карпински Л., Пикуз С.А., Шелковенко Т.А. // *Квантовая электроника*. – 1993. – Т. 20. – С. 1121.
- 24 Alliaga-Rossel R., Lebedev S.V., Chittenden P. et al. // *IEEE Trans. Plasma Phys.* – 1998. – V. 12. – N 11. – P. 765.
- 25 Chittenden J.P., Lebedev S.V., Bell A.L. et al. // *Phys. Rev. Lett.* – 1999. – V. 83. – P. 100.
- 26 Lebedev S.V, Bland S.N., Beg F.N., Chittenden J.P, Dangor A.E, Haines M.G., Pikuz S.A., Sheikovenko T.A. // *Phys.Rev.Lett.* – 2000. – V. 85. – P. 98.
- 27 Sinars D.B., Bennett G.R., Wenger D.F., Cuneo M.E., et al. // *Rev. Sci. Instr.* – 2004. – V. 75. – P. 3672.
- 28 Hussey T.W., Matzen M.K., Roderick N.F. // *J. Appl. Phys.* – 1986. – V.59. – P. 2677.
- 29 Чайковский С.А., Сорокин С.А. Применение двухкаскадного лайнера для генерации К-излучения на микросекундном генераторе // *Физика плазмы*. – 2001. – Т.27. – № 11. – С. 1003-1008.



- 30 Сорокин С.А., Хачатурян А.В., Чайковский С.А. // Физика плазмы. – 1991. – Т. 17. – С. 1453.
- 31 Гасилов В.А., Захаров С.В., Круковский А.Ю., Скороваров К.В. Генерация интенсивных потоков излучения и мегабарных ударных волн сжимающимися лайнерами // Физика плазмы. – 1995. – Т.21. – № 5. – С. 399-406.
- 32 Pereira N.R., Davis J. // J. Appl. Phys. – 1988. – V. 64. – P.1.
- 33 Сорокин С.А. К-излучение двухкаскадного аргонового лайнера // Физика плазмы. – 2001. – Т.27. – № 11. – С. 1019-1022.
- 34 Mosher D., Qi N., Krishnan M. // IEEE Trans. Plasma Sci. – 1998. – V. 26. – P. 1052.
- 35 Sincerny P. Pulsed compression with an imploding gas puff / P. Sincerny, S. Wong, V. Buck, C. Gilman, T. Sheridan // Proc. 5th Pulsed Power Conf, Arlington, VA, 1985. – P. 701-703.
- 36 Чайковский С.А. Экспериментальные исследования формирования плотной излучающей плазмы в диодах наносекундных генераторов тока мегаамперного диапазона. Диссертация д.ф.-м.н. Томск, 2016. – 277 с.
- 37 Chang T-F. X-ray results from a modified nozzle and double gas puff z-pinch / T-F. Chang, A. Fisher, A. Van Drie // J. Appl. Phys. – 1991. – V.69. – № 6. – P. 3447-3450.
- 38 Бакшт Р.Б., Лучинский А.В., Федюнин А.В. Источник мягкого рентгеновского излучения на основе каскадированного лайнера // ЖТФ. – 1992. – Т.62. – № 11. – С.145-150.
- 39 Cochran F.L. Stability and radiative performance of structured Z-pinch loads imploded on high-current pulsed power generators / F.L.Cochran, J. Davis, A.L.Velikovich // Phys. Plasmas. – 1995. – V.2. – № 7. – P.2765-2772.

б) дополнительная литература:

- 1 Сорокин С.А., Чайковский С.А. Получение высоких степеней устойчивости радиального сжатия лайнеров // Физика плазмы. – 1993. – Т.19. – вып.7. – С. 856-865.
- 2 Пикуз С.А., Шелковенко Т.А., Хаммер Д.А. X-пинч. Часть I // Физика плазмы. – 2015. – Т.41. – вып.4. – С. 319-373.
- 3 Калашникова В.И., Козодаев М.С.. Детекторы элементарных частиц. Учебное пособие для физических и инженерно-физических факультетов высших учебных заведений, М., Наука, 1966.
- 4 Ляпидевский В.К.. Методы детектирования излучений. Для студентов вузов. Москва. Энергоатомиздат, 1987.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:  
не предусматривается.

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Учебная аудитория для проведения занятий практического типа (л212), укомплектованная специализированной мебелью и средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории:

- Ноутбук HP;
- Проектор ACER X1260

б) Помещение для самостоятельной работы обучающихся (л318), оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду:

- Персональный компьютер на базе Core Dual 2,4 МГц (2009 г.) – 15 шт.
- Принтер HP LJ P3005 DN (2009 г.) – 1 шт.
- Сканер HP SJ 4370 – 1 шт.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии», утвержденного Ученым советом НИЯУ МИФИ 27.07.2021 г., протокол № 21/11.

Авторы: \_\_\_\_\_ к.т.н. Григорьев А.Н., к.ф.-м.н. Павленко А.В.

Рецензент \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании кафедры «Ядерной физики и спецтехнологий»  
\_\_\_\_\_ г., протокол № \_\_\_\_.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

| Выпускающая кафедра, курирующая специальность, для которой читается данная дисциплина | Ф.И.О. заведующего данной выпускающей кафедрой | Решение заведующего выпускающей кафедрой по согласованию данной рабочей программы | Подпись заведующего выпускающей кафедрой и дата |
|---|--|---|---|
| 1   | 2  | 3   | 4   |
|   |  |   |   |

## ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

на 20\_\_ /20\_\_ учебный год

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой направления подготовки  
(специальности)  
“\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2022 г. \_\_\_\_\_

**Утверждаю**

Зам. руководителя по учебной и научно-методической работе  
\_\_\_\_\_ П.О. Румянцев