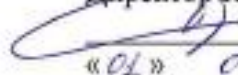


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
 «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЯТШ

 О.Ю. Долматов  
 «01» 09 2020 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ПРИЕМ 2019г.**  
**ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная**

**Изотопно-модифицированные материалы**

|                                                                                                                              |                                                                 |         |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------|-----------------|
| Направление подготовки/<br>специальность                                                                                     | 14.04.02 Ядерные физика и технологии                            |         |                 |
| Образовательная программа<br>(направленность (профиль))                                                                      | Современные изотопные технологии и<br>радиационная безопасность |         |                 |
| Специализация                                                                                                                | Изотопные технологии и материалы                                |         |                 |
| Уровень образования                                                                                                          | высшее образование - магистратура                               |         |                 |
| Курс                                                                                                                         | 1                                                               | семестр | 2               |
| Трудоемкость в кредитах<br>(зачетных единицах)                                                                               | 3                                                               |         |                 |
| Виды учебной деятельности                                                                                                    | Временной ресурс                                                |         |                 |
| Контактная (аудиторная)<br>работа, ч                                                                                         | Лекции                                                          |         | 8               |
|                                                                                                                              | Практические занятия                                            |         |                 |
|                                                                                                                              | Лабораторные занятия                                            |         | 24              |
|                                                                                                                              | ВСЕГО                                                           |         | 32              |
| Самостоятельная работа, ч                                                                                                    |                                                                 |         | 76              |
| в т.ч. отдельные виды самостоятельной работы с<br>выделенной промежуточной аттестацией (курсовой<br>проект, курсовая работа) |                                                                 |         | курсовой проект |
| ИТОГО, ч                                                                                                                     |                                                                 |         | 108             |

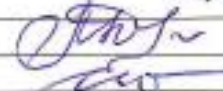
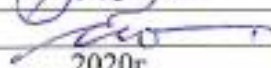
Вид промежуточной  
аттестации

экзамен,  
диф. зачет

Обеспечивающее  
подразделение

ОЯТЦ

Заведующий кафедрой -  
руководитель отделения  
на правах кафедры  
Руководитель ООП  
Преподаватель

|                                                                                     |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|  | А.Г. Горюнов   |
|  | Л.И. Дорофеева |
|  | В.Ф. Мышкин    |

2020г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                                              | Индикаторы достижения компетенций |                                                                                                                                                                                                               | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции) |                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                                                                                       | Код индикатора                    | Наименование индикатора достижения                                                                                                                                                                            | Код                                                         | Наименование                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| ПК(У)-1         | Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения | И.ПК(У)-1.1                       | Демонстрирует способность использовать фундаментальные законы в области физики разделения изотопных и молекулярных смесей для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения | ПК(У)-1.1.B1                                                | Владеет опытом использования фундаментальных законов в области физики разделения изотопных и молекулярных смесей для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения                                                                                       |
|                 |                                                                                                                                                       |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)-1.1.Y1                                                | Умеет анализировать новые теоретические подходы и принципы дизайна материалов с заданными свойствами, использовать высокоэффективные технологии получения современных изотопных материалов                                                                                                 |
|                 |                                                                                                                                                       |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)-1.1.31                                                | Знает основные термины и определения разделительных процессов                                                                                                                                                                                                                              |
| ПК(У)-2         | Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии                 | И.ПК(У)-2.3                       | Демонстрирует способность к разработке технологий получения материалов с заданным изотопным составом                                                                                                          | ПК(У)-2.3.B1                                                | Владеет опытом применения оптимальных принципов и подходов для разработки методов и перспективных технологий получения моноизотопной и изотопно-модифицированной продукции, тонкой очистки и получения высокочистых веществ, переработки, утилизации и обезвреживания промышленных отходов |
|                 |                                                                                                                                                       |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)-2.3.Y1                                                | Умеет применять методы расчета установок для процессов разделения изотопных и молекулярных смесей, молекулярно-селективных технологий                                                                                                                                                      |
|                 |                                                                                                                                                       |                                   |                                                                                                                                                                                                               | ПК(У)-2.3.31                                                | Знает теоретические подходы и принципы дизайна материалов с заданными свойствами, получения изотопно-модифицированных материалов                                                                                                                                                           |
| ПК(У)-4         | Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли,                                                                                                | И.ПК(У)-4.1                       | Демонстрирует способность к применению современных                                                                                                                                                            | ПК(У)-4.1.B1                                                | Владеет опытом расчета и оптимизации современных физических установок для разделения, анализа и                                                                                                                                                                                            |

| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                                                                                                                      | Индикаторы достижения компетенций |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                                                                                                                                                                                                                               | Код индикатора                    | Наименование индикатора достижения                                                                                                                                                                                                                                                                 | Код                                                         | Наименование                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                 | использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах                                                                                                                              |                                   | достижений в области разделительных, лазерных, плазменных, установок в решении технологических задач ЯТЦ                                                                                                                                                                                           |                                                             | переработки веществ в научных, экологических и промышленных целях с применением пакетов прикладных программ                                                                                                                                                                                                              |
|                 |                                                                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ПК(У)-4.1.У1                                                | Умеет проводить исследования в области разделения жидких и газовых смесей, получения высокочистых веществ, изотопно-модифицированных материалов                                                                                                                                                                          |
|                 |                                                                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ПК(У)-4.1.31                                                | Знает способы применения разделительных, лазерных, плазменных установок в решении технологических задач ЯТЦ                                                                                                                                                                                                              |
| ПК(У)-5         | Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета | И.ПК(У)-5.1                       | Демонстрирует способность планировать аналитические, имитационные и экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы<br>Демонстрирует способность планировать аналитические, имитационные и экспериментальные исследования, критически оценивать данные и делать выводы | ПК(У)-5.1.В1                                                | Владеет опытом планирования, постановки и организации экспериментов по выбору и обоснованию материалов и способов для разделения изотопов, получения моноизотопной и изотопно-модифицированной продукции, тонкой очистки и получения высокочистых веществ, переработки, утилизации и обезвреживания промышленных отходов |
|                 |                                                                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ПК(У)-5.1.У1                                                | Умеет формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач, обобщать и критически оценивать полученную информацию, делать выводы                                                                                                                                        |
|                 |                                                                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ПК(У)-5.1.31                                                | Знает изотопные технологии и материалы, технологии переработки промышленных отходов                                                                                                                                                                                                                                      |
|                 |                                                                                                                                                                                                                               | И.ПК(У)-5.3                       | Демонстрирует способность к разработке способов проведения экспериментов в области разделения и применения изотопных материалов (жидких и газовых смесей), получения высокочистых веществ                                                                                                          | ПК(У)-5.3.В1                                                | Владеет опытом совершенствования технологических процессов получения изотопно-модифицированных материалов                                                                                                                                                                                                                |
|                 |                                                                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ПК(У)-5.3.У1                                                | Умеет использовать экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований                                                                                                                                                                                                                                   |
|                 |                                                                                                                                                                                                                               |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | ПК(У)-5.3.31                                                | Знает способы и методики проведения исследований в области разделения и                                                                                                                                                                                                                                                  |

| Код компетенции | Наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенций |                                    | Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции) |                                                                                                       |
|-----------------|--------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                 |                          | Код индикатора                    | Наименование индикатора достижения | Код                                                         | Наименование                                                                                          |
|                 |                          |                                   |                                    |                                                             | анализа жидких и газовых смесей, получения высокочистых веществ, изотопно-модифицированных материалов |

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к Вариативной части (междисциплинарный профессиональный модуль) учебного плана образовательной программы.

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

| Планируемые результаты обучения по дисциплине |                                                                                                                                                          | Индикатор достижения компетенции |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Код                                           | Наименование                                                                                                                                             |                                  |
| РД-1                                          | Использовать основные законы естественно-научных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования     | И.ПК(У)-1.1                      |
| РД-2                                          | Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области изотопных технологий и материалов                            | И.ПК(У)-2.3                      |
| РД-3                                          | Разрабатывать новые алгоритмы и методы исследования изотопных эффектов и материалов; оценивать изотопные эффекты в различных физико-химических процессах | И.ПК(У) -4.1                     |
| РД-4                                          | Эксплуатировать современное физическое технологическое оборудование и приборы; осваивать технологические процессы производства изотопных материалов      | И.ПК(У) -5.1<br>И.ПК(У)-5.3      |

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

## 4. Структура и содержание дисциплины

### Основные виды учебной деятельности

| Разделы дисциплины                                               | Формируемый результат обучения по дисциплине | Виды учебной деятельности | Объем времени, ч. |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
| Раздел (модуль) 1. Изотопные эффекты в твердых телах и жидкостях | РД1                                          | Лекции                    | 2                 |
|                                                                  |                                              | Лабораторные занятия      | 24                |
|                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 38                |
| Раздел (модуль) 2. Теоретические основы изотопных эффектов       | РД1                                          | Лекции                    | 6                 |
|                                                                  |                                              | Самостоятельная работа    | 38                |

### Содержание разделов дисциплины:

#### Раздел 1. Изотопные эффекты в твердых телах и жидкостях

*Рассмотрены причины, приводящие к различию физико-химических свойств изотопов. Причины различий в нулевых колебаниях, параметрах решетки и зарядовых радиусов изотопов. Роль термодинамических и кинетических факторов в изотопных эффектах физико-химических процессов.*

**Темы лекций:**

1. Обзор изотопных эффектов в твердых телах и жидкостях (2 ч)

**Названия лабораторных работ:**

1. Количественный изотопный анализ газовой смеси (4 ч)
2. Анализ схемы фрагментации изотопных модификаций молекул при разных напряжениях источника ионов масс-спектрометра (4 ч)
3. Термодинамический анализ кристаллов, содержащих смесь двух изотопов (4 ч)
4. Компьютерное моделирование изотопных кластеров в кристаллах (4 ч)
5. Анализ дефектов, образующихся в твердых телах, от изотопного состава и спектра радиоактивного излучения (8 ч)

**Раздел 2. Теоретические основы изотопных эффектов**

*Рассмотрены основы физики твердого тела и материаловедения, а также влияние изотопных эффектов на свойства материалов (материалы для ядерной энергетики). Например, влияние изотопов на свойства твердых тел в экстремальных условиях: действие радиации или механической нагрузки. Рассматриваются прочность и пластичность, а также их зависимость от других внешних условий (например, магнитного поля). Значительное внимание уделено теплопроводности кристаллов с различным изотопным составом. Показана изотопная зависимость ширины запрещенной зоны полупроводников.*

**Темы лекций:**

1. Энергия нулевых колебаний и изотопный эффект (размер решетки) (1,5 ч)
2. Изотопный эффект, связанной с разницей масс (фонон, теплопроводность, химическая реакция) (2,5 ч)
3. Изотопный эффект, связанный с ядерным спином (время формирования и разрушения химической связи – химическая реакция, пластичность) (2 ч)

**Тематика курсового проекта.**

Оптимизация по изотопному составу конструкционных материалов.

Расчеты проводятся по индивидуальным вариантам.

**5. Организация самостоятельной работы студентов**

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом;
- Изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- Подготовка к лабораторным работам;
- Анализ научных публикаций по заранее определенной преподавателем теме - оформление реферата;
- Курсовое проектирование;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

**6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины****6.1. Учебно-методическое обеспечение****Основная литература**

1. Tao Sun, Wei Kang, and Jianxiang Wang Impact of isotopic disorders on thermal transport properties of nanotubes and nanowires // Journal of Applied Physics 117, 035101 (2015) – URL:

<https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4906138>.

2. Haller, E. E. Physics with Isotopically Controlled Semiconductors / E. E. Haller. - URL: <https://journals.ioffe.ru/articles/viewPDF/7160>.

### Дополнительная литература

1. Федотов, А. К. Физическое материаловедение. Учебное пособие. В 3 частях. Ч. 3. Материалы энергетики и энергосбережения / А. К. Федотов, В. М. Анищик, М. С. Тиванов. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. - 463 с. Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/75128>.

### 6.2. Информационное и программное обеспечение

1. <https://www.rosatom.ru/about/>
2. <https://www.isotope.com>
3. <https://neutrons.ornl.gov/hfir>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

Zoom Zoom; 7-Zip; Adobe Acrobat Reader DC; Adobe Flash Player; Amazon Corretto JRE 8; Far Manager; Google Chrome; Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic; Notepad++; WinDjView; ownCloud Desktop Client; AkelPad; Cisco Webex Meetings; Document Foundation LibreOffice; Far Manager; Mozilla Firefox ESR; Oracle VirtualBox; Tracker Software PDF-XChange Viewer; XnView Classic; Elsevier Mendeley Desktop; Microsoft Teams.

### 7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

| №  | Наименование специальных помещений                                                                                                                                                                                                                                | Наименование оборудования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации<br><br>634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2, ауд. 313<br>(Учебный корпус №10)                       | Компьютер - 1 шт.; Проектор - 2 шт.; Тумба подкатная - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 40 посадочных мест.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (научная лаборатория)<br><br>634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2, ауд. 316<br>(Учебный корпус №10) | Учебно-исследовательский комплекс для изучения физико-химических процессов с участием радикалов - 1 шт.; Анализатор спектра GSP-827 - 1 шт.; Источник питания GoodWill Instek GPS-1850 - 1 шт.; Осциллограф GDS-2062 - 1 шт.; Осциллограф GDS-2204 - 2 шт.; Скоростная камера HS101H 1024.58 - 1 шт.; Опытный образец лазера АИЛ-0,5 - 1 шт.; Установка галогорграфическая виброзащищенная - 1 шт.; Насос перистальтический ЛАБ-НП-1-20М - 1 шт.; Генератор GoodWill Instek GFG-8215A - 1 шт.; Лазер ЛГН-118-3В - 1 шт.; Осциллограф WS 44 XS - 1 шт.; Полупроводниковый источник когерентного излучения - 1 шт.; Источник беспереб. питания 1000VA - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 6 посадочных мест; Компьютер - 5 шт. |
| 3. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (научная лаборатория)<br><br>634028, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 2, ауд. 239<br>(Учебный корпус №10) | Компьютер - 1 шт.; Принтер - 1 шт.; Комплект газоаналитического оборудования (масс-спектрометр "Техмас", Персональный компьютер INTEL ATOM D 410) - 1 шт.; Программно-аппаратный масс-спектрометрический комплекс - 1 шт.; Комплект учебной мебели на 13 посадочных мест.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 4. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования,                                                                                                                                                                                    | Компьютер - 38 шт.; Принтер - 3 шт.; Проектор - 1 шт., Комплект учебной мебели на 50 посадочных мест.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    | консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)<br><br>634034, Томская область, г. Томск, Белинского улица, 53а, ауд. 311<br>(Научно-техническая библиотека)                                                                                 |                                                                                      |
| 5. | Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс)<br><br>634034, Томская область, г. Томск, Белинского улица, 53а, ауд.210/1<br>(Научно-техническая библиотека) | Компьютер - 10 шт.; Проектор - 1 шт., Комплект учебной мебели на 10 посадочных мест. |

Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики образовательной программы «Современные изотопные технологии и материалы» по направлению 14.04.02 Ядерная физика и технологии, специализация «Изотопные технологии и материалы» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик - профессор Мышкин В.Ф.

Программа одобрена на заседании ОЯТЦ (протокол от «28» июня 2019 г. №16).

Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры, д.т.н.

подпись

Горюнов А.Г.

## Лист изменений рабочей программы дисциплины

[illegible]