

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР НЕВОД

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/423-573.1

от 20.04.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ФИЗИКА МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
7	2	72	16	16	0		24	16	3
Итого	2	72	16	16	0	0	24	16	

## АННОТАЦИЯ

Мюон – частица с массой, в 207 раз превышающей массу электрона и относящаяся ко второму поколению лептонов, был открыт К. Андерсоном и С. Недермейером в космических лучах еще в 1936 г. Однако до сих пор мюоны, благодаря своим уникальным характеристикам: довольно слабому поглощению в веществе и большому времени жизни, остаются интересным объектом для изучения и являются одним из важнейших инструментов исследований в физике космических лучей (КЛ). Данный курс охватывает все ключевые аспекты физики мюонов космических лучей. Рассматриваются основные характеристики и свойства мюонов, процессы их взаимодействия с атомами и ядрами, потери энергии при прохождении вещества. Особое внимание уделено фундаментальным исследованиям – пространственно-энергетические характеристики мюонной компоненты широких атмосферных ливней (ШАЛ) тесно связаны с параметрами адронных взаимодействий, с энергетическим спектром и массовым составом первичных КЛ, изучение которых позволяет проводить поиск новых физических процессов и получать информацию о происхождении, ускорении и распространении космических лучей в Галактике и Вселенной. Отдельно обсуждается прикладная область исследований – изучение вариаций потока мюонов, связанных с целым рядом динамических явлений на Солнце, в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли, позволяет осуществлять дистанционный мониторинг состояния атмосферы Земли и околоземного пространства над большими территориями, который имеет беспрецедентное значение для обеспечения работоспособности различного рода современной аппаратуры и здоровья людей.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Физика мюонов космических лучей» являются приобретение учащимися знаний о фундаментальных и прикладных аспектах физики мюонов космических лучей, о детекторах и установках для их регистрации и исследования, о методах обработки экспериментальных данных; приобретение навыков учета влияния различных физических процессов на характеристики потока мюонов. Освоение основных методов и подходов мюонной диагностики.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для успешного освоения положений данной дисциплины студент должен предварительно изучить такие дисциплины, как: «Общая физика», «Введение в ядерную физику», «Квантовая механика», «Электротехника и электроника», а также:

- знать: иностранный язык в объеме, необходимом для получения информации профессионального содержания из зарубежных источников; понятия и методы математического анализа: дифференциальное исчисление, интегральное исчисление и функции многих переменных; аналитическую геометрию; линейную алгебру; векторный и тензорный анализ; обыкновенные дифференциальные уравнения; теорию вероятности и математическую статистику; общую физику: механику, молекулярную физику, электричество и магнетизм, волны и оптику; физические основы электроники; основы взаимодействия физических полей и частиц с веществом; области и возможности применения физических явлений; фундаментальные законы (явления и эффекты) в области физики атомного ядра и частиц; экспериментальные, теоретические и компьютерные методы исследований в этой области;

- уметь: использовать математические методы в физических приложениях; применять методы решения задач анализа и расчета характеристик механических, электромагнитных, оптических, атомных и ядерных систем; использовать основные приемы обработки экспериментальных данных;

- владеть: методами математического анализа; методами решения задач анализа и расчета характеристик физических систем; основными методами работы на ПЭВМ в том числе методами работы с прикладными программными продуктами.

Освоение дисциплины «Физика мюонов космических лучей» важно для изучения следующих дисциплин программы «Аппаратура и установки в физике высоких энергий», «Современный ядерно-физический эксперимент на наземных установках и в космосе», «Методы регистрации излучений», «Физика элементарных частиц», «Методы детектирования излучений», «Физика космических лучей», «Экспериментальная ядерная физика», «Экспериментальные методы ядерной физики», «Производственная практика», а также при подготовке и защите диплома (выпускной квалификационной работы).

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
проведение экспериментов по заданным методикам, обработка и анализ результатов;	элементарные частицы, атомное ядро и плазма, газообразное и конденсированное состояние вещества, лазеры и их применения, ядерные реакторы, материалы ядерных реакторов, ядерные материалы и системы обеспечения их безопасности, ускорители заряженных частиц, современная	ПК-3 [1] - Способен проводить физические эксперименты по заданной методике, составлять описания проводимых исследований, отчетов, анализу результатов и подготовке научных публикаций  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-3[1] - знать основные физические законы и методы обработки данных ; У-ПК-3[1] - уметь работать по заданной методике, составлять описания проводимых исследований и отчеты, подготавливать материалы для научных публикаций;

	электронная схемотехника, электронные системы ядерных и физических установок, системы автоматизированного управления ядерно-физическими установками,		В-ПК-3[1] - владеть навыками проведения физических экспериментов по заданной методике, основами компьютерных и информационных технологий, научной терминологией
проектный			
расчет и проектирование деталей и узлов машиностроительных конструкций в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования;	разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ,	ПК-4 [1] - Способен к расчету и проектированию элементов систем в соответствии с техническим заданием, требованиями безопасности и принципами CDIO  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-4[1] - знать типовые методики планирования и проектирования систем ; У-ПК-4[1] - уметь использовать стандартные средства автоматизации проектирования;; В-ПК-4[1] - владеть методами расчета и проектирования деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием , требованиями безопасности и принципами CDIO
производственно-технологический			
контроль соблюдения технологической дисциплины при изготовлении и обслуживании технологического оборудования для реализации производственных процессов;	разработка ядерных и физических установок, технологии применения приборов и установок для регистрации излучений, разделения изотопных и молекулярных смесей, а также анализа веществ,	ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и обслуживания оборудования  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	3-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть

			методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы

		<p>общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.</p>
Профессиональное воспитание	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>
Профессиональное воспитание	<p>Создание условий, обеспечивающих, формирование культуры ядерной безопасности (B24)</p>	<p>1.Использование воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин для формирования чувства личной ответственности за соблюдение ядерной и радиационной безопасности, а также соблюдение государственных и коммерческих тайн.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала содержания учебных дисциплин «Актуальные проблемы</p>

		<p>эксплуатации АЭС», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике», «Системы радиационного контроля» для формирование личной ответственности за соблюдение экологической и радиационной безопасности посредством изучения основополагающих документов по культуре ядерной безопасности, разработанных МАГАТЭ и российскими регулирующими органами, норм и правил обращения с радиоактивными отходами и ядерными материалами.</p> <p>3.Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин «Контроль и диагностика ядерных энергетических установок», «Надежность оборудования атомных реакторов и управление риском», «Безопасность ядерного топливного цикла», «Ядерные технологии и экология топливного цикла» для формирования личной ответственности за соблюдение и обеспечение кибербезопасности и информационной безопасности объектов атомной отрасли через изучение вопросов организации информационной безопасности на объектах атомной отрасли, основных принципов построения системы АСУТП ядерных объектов, методов защиты и хранения информации, принципов построения глубокоэшелонированной и гибкой системы безопасности ядерно-физических объектов.</p> <p>4.Использование воспитательного потенциала содержания блока дисциплин «Экология», «Системы радиационного контроля», «Основы экологической безопасности в ядерной энергетике» для формирования ответственной экологической позиции посредством изучения вопросов обеспечения такого уровня безопасности АЭС, при котором воздействие на окружающую среду, обеспечивает сохранение природных</p>
--	--	---

		систем, поддержание их целостности и жизнеобеспечивающих функций, через рассмотрение вопросов радиационного контроля при захоронении и переработки ядерных отходов, вопросов замыкания ядерного топливного цикла.
--	--	---

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практик. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Фундаментальные аспекты физики мюонов космических лучей	1-8	8/8/0	Кл-8 (25)	25	КИ-8	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4
2	Прикладные аспекты физики мюонов космических лучей	9-16	8/8/0	Кл-16 (25)	25	КИ-16	3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-



							ПК-4, В- ПК-4
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		16/16/0		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 7 Семестр</b>				50	3	3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Кл	Коллоквиум
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	16	16	0
<b>1-8</b>	<b>Фундаментальные аспекты физики мюонов космических лучей</b>	8	8	0
1 - 2	<b>Характеристики мюонов</b> Стандартная Модель физики частиц. История открытия мюона. Основные физические характеристики мюона. Рождение, взаимодействия и распад.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Взаимодействие мюонов с атомами и ядрами</b> Поляризация, возбуждение и ионизация атомов. Упругое и неупругое рассеяние, тормозное излучение, образование электрон-позитронных пар. Многократное рассеяние. Потери энергии и пробег мюонов в веществе.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

5 - 6	<b>Процессы генерации мюонов в космических лучах. Методы измерения энергии мюонов</b> Образование мюонов в космических лучах. Отрицательные и положительные мюоны в атмосфере, зарядовое отношение. Энергетический спектр и угловое распределение мюонов в атмосфере и под землей. Альбедные мюоны. Мюонные детекторы (счетчики, черенковские водные детекторы, трековые детекторы и др.). Методы измерения энергии мюонов: магнитный спектрометр, кривая поглощения, калориметр, параметр.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	<b>Исследование мюонов в составе ШАЛ. Современные фундаментальные проблемы и задачи</b> Энергетические, пространственные и угловые характеристики мюонной компоненты ШАЛ. Влияние магнитного поля Земли на пространственное распределение мюонов. Группы мюонов. Спектры локальной плотности мюонов. Наблюдение избытка мюонов – “мюонная загадка”. Связь мюонов с энергетическим спектром, массовым составом первичных космических лучей, с параметрами адронных взаимодействий. Мюоны сверхвысоких энергий.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-16	<b>Прикладные аспекты физики мюонов космических лучей</b>	8	8	0
9 - 10	<b>Вариации мюонов космических лучей</b> Регулярные (суточные, сезонные и т.д.) и спорадические вариации, вызванные процессами на Солнце, в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли. Волновые процессы. Анизотропия потока мюонов КЛ и ее причины: магнитное поле Земли, межпланетное магнитное поле. Вариации анизотропии и ее причины: динамические процессы в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	<b>Метеорологические эффекты в потоке мюонов в атмосфере</b> Барометрические коэффициенты потока мюонов. Температурные коэффициенты потока мюонов различных энергий. Изучение активных атмосферных процессов локального характера. Атмосферные фронты, ураганы, грозы. Механизмы воздействия атмосферных электрических полей на характеристики потока мюонов. Мюоны в грозах.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	<b>Мюонная диагностика околоземного пространства. Мониторинг космической погоды</b> Мюонные телескопы, многонаправленный мюонный телескоп, мюонные годоскопы. Основы анализа нестационарных временных рядов экспериментальных данных (Фурье, вейвлет и др.), особенности. Метод мюонной диагностики окружающего пространства – новое направление исследований в солнечно-земной физике.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
15 - 16	<b>Мюонные годоскопы. Мюонная томография. Перспективы прикладных исследований потока мюонов КЛ</b> Основные характеристики мюонных годоскопов ТЕМП и	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0

УРАГАН. Матричный формат представления информации. Мюонные снимки и их временные ряды. Мюонограммы солнечных, гелиосферных, магнитосферных и атмосферных процессов. Принципы мюонной томографии. Томография скрытых объектов. Перспективы прикладных исследований потока мюонов КЛ.			
---	--	--	--

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Занятия по дисциплине «Физика мюонов космических лучей» проходят в форме лекций и практических занятий с использованием современных средств мультимедиа и интерактивных технологий. Самостоятельная работа студентов предусматривает предварительную подготовку по тематике занятий.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-16, Кл-8, Кл-16
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-16, Кл-8, Кл-16
	В-ПК-3	З, КИ-8, КИ-16, Кл-8, Кл-16
ПК-4	З-ПК-4	З, КИ-8, КИ-16, Кл-8, Кл-16
	У-ПК-4	З, КИ-8, КИ-16, Кл-8, Кл-16
	В-ПК-4	З, КИ-8, КИ-16, Кл-8, Кл-16
ПК-6	З-ПК-6	З, КИ-16
	У-ПК-6	З, КИ-16
	В-ПК-6	З, КИ-16

## Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## 8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 93 Курс общей физики Т. 5 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, : , 2022

2. ЭИ Э 41 Экспериментальный комплекс НЕВОД : монография, Москва: НИЯУ МИФИ, 2022

#### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 539.1 С20 Введение в физику микромира. Физика частиц и ядер : учебное пособие для вузов, Москва: Либроком, 2012
2. ЭИ К96 Методы регистрации излучений (итоговое занятие) : лабораторный практикум, Москва: НИЯУ МИФИ, 2015
3. ЭИ М98 Мюонная диагностика магнитосферы и атмосферы Земли : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2014

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Сайт Научно-образовательного центра НЕВОД (<http://nevod.mephi.ru/>)
2. ScienceDirect is a leading full-text scientific database offering journal articles and book chapters (<http://www.sciencedirect.com/science/journals/>)
3. Nature Publishing Group (NPG) (<http://www.nature.com/>)
4. Springer. Providing researchers with access to millions of scientific documents from journals, books (<http://link.springer.com/>)
5. Moscow Neutron Monitor (<http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>)
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. (<http://elibrary.ru/>)
7. Электронная библиотека НИЯУ МИФИ ([www.library.mephi.ru](http://www.library.mephi.ru))

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Важнейшая задача данного курса «Физика мюонов космических лучей» – овладение современными методами и подходами, в которых мюоны используются в качестве основного инструмента, с целью решения как фундаментальных проблем, так и прикладных задач в физике космических лучей.

Основой этого являются знания о свойствах мюонов, процессах генерации в атмосфере, распаде и взаимодействии с веществом. С одной стороны, исследование пространственно-энергетических характеристик мюонной компоненты ШАЛ позволяют получать уникальную информацию о ядро-ядерных взаимодействиях в области сверхвысоких энергий, пока еще недоступных ускорительной технике, об энергетическом спектре и массовом составе первичного космического излучения. Что, в свою очередь, дает возможность искать новые физические процессы (состояния материи), осуществлять проверку гипотез о происхождении, ускорении и распространении космических лучей в нашей Галактике и во Вселенной в целом. С другой, изучение пространственно-временных вариаций потока мюонов космических лучей (мюонная диагностика) является в настоящее время одним из наиболее перспективных способов дистанционного мониторинга динамических процессов как в атмосфере Земли, так и в околоземном пространстве (космической погоды) – на Солнце, в гелиосфере и магнитосфере, который имеет важнейшее значение для обеспечения работоспособности различного рода современной аппаратуры, а также здоровья людей.

Для успешного освоения курса, конечно, необходимы систематические занятия. Физика мюонов космических лучей постоянно развивается, поэтому трудно порекомендовать определенный учебник – основу курса составляют экспериментальные и теоретические исследования, результаты которых публикуются в периодических научных изданиях. Следовательно, залогом успешного освоения данной дисциплины является регулярное посещение занятий, конспектирование и последующая проработка материала, выполнение всех лабораторных работ. Особая роль отводится самостоятельной работе студентов. С целью углубления знаний будет полезно изучать дополнительную литературу (в основном статьи) с использованием рекомендованных преподавателем Интернет-ресурсов. По завершении курса требуется научиться кратко формулировать рассмотренные физические закономерности и их применения, условия проведения и результаты экспериментов, делать быстрые оценки искомых физических величин и анализировать их правдоподобность, в полной мере (теоретически и практически) овладеть методами мюонной диагностики.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Основная цель данного курса «Физика мюонов космических лучей» – познакомить студентов с наиболее интересными методами и подходами, где мюоны используются в качестве уникального инструмента для решения актуальных фундаментальных проблем в области физики космических лучей, ядерной физики, астрофизики и множества прикладных задач, связанных с мониторингом атмосферных процессов на Земле и космической погоды, серьезно влияющих на сферу жизнедеятельности людей.

Сначала необходимо разобрать основные характеристики (свойства) мюона – масса, заряд, спин и т.д., место в Стандартной модели элементарных частиц, реакции рождения и распада. Особое внимание надо уделить основным процессам взаимодействия мюонов с атомами (поляризация, возбуждение, ионизация, напомнить особенности поведения кривой ионизации) и ядрами (упругое и неупругое взаимодействия, тормозное излучение, образование электронно-позитронных пар, привести диаграммы Фейнмана, обсудить зависимости сечений этих процессов от энергии), рассмотреть потери энергии мюонов при прохождении через вещество (и соотношение для разных процессов).

Далее, целесообразно рассмотреть процессы генерации мюонов космических лучей, продемонстрировать тесную связь характеристик мюонной компоненты ШАЛ с энергетическим

спектром и массовым составом первичных космических лучей, а также с параметрами ядерно-ядерных взаимодействий. Здесь также уместно обсудить современные проблемы, стоящие перед физикой космических лучей, например, объяснение особенностей в спектре, их ядерно-физическую и астрофизическую интерпретации, наблюдаемый в экспериментах избыток мюонов в области сверхвысоких энергий и др. Здесь важно подчеркнуть, что детальное исследование одновременно пространственных и энергетических характеристик мюонов может сыграть ключевую роль при решении указанных проблем. Обязательно надо обратить внимание учащихся на различные методы регистрации мюонной компоненты, их достоинства и недостатки.

Отдельно можно выделить важные аспекты прикладных исследований с использованием мюонов в качестве основного инструмента. Необходимо обсудить, в первую очередь, причины, которые могут приводить к вариациям (изменению) потока мюонов: процессы на Солнце, в гелиосфере, магнитосфере и атмосфере Земли. Очень важно указать на возможные последствия этих процессов для здоровья людей и обеспечения работы техники (аппаратуры) в космосе и на Земле, подчеркнуть важность осуществления постоянного мониторинга указанных процессов, раскрыть суть термина космическая погода. Далее нужно рассмотреть используемые в данной области исследований мюонные детекторы (телескопы и годоскопы) и методы мюонной диагностики, а также их особенности. Особое внимание стоит уделить методам обработки и анализа временных рядов. Немаловажно будет подчеркнуть, что мюонная диагностика является новым и очень перспективным направлением исследований в области солнечно-земной физики и бурно развивается в последнее время. Главное, что весь процесс: регистрация – обработка – анализ можно практически (и наглядно) показать на примере реальных физических событий, зарегистрированных действующим в настоящее время в НИЯУ МИФИ детектором УРАГАН.

Еще одним из существенных моментов обучения, на наш взгляд, является необходимость привития студентам навыка делать быстрые оценки требуемых физических величин (например, де-бройлевская длина волны, средние потери энергии при прохождении через вещество, пробег, и т.п.).

Автор(ы):

Богданов Алексей Георгиевич, к.ф.-м.н.

Петрухин Анатолий Афанасьевич