



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФГБОУ ВО «ИГУ»

**Кафедра общей и космической физики**



**УТВЕРЖДАЮ**

Декан физического факультета

Н.М. Буднев

20 апреля 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.ДВ.02.01 Физика и астрофизика нейтрино

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Астрофизика высоких энергий

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК физического факультета  
Протокол №38 от «18» апреля 2023 г.

Председатель  Буднев Н.М.

**Рекомендовано кафедрой:**  
общей и космической физики

**Протокол № 8**

от « 15 » марта 2023 г.

**Зав.кафедрой** д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2023 г.

## Содержание

<b>I. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....	3
<b>II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО</b> .....	3
<b>III. Требования к результатам освоения дисциплины</b> .....	3
<b>IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)</b> .....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов .....	5
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	5
4.3. Содержание учебного материала .....	6
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	7
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	8
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....	9
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии) .....	9
<b>V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	10
а) <i>перечень литературы</i> .....	10
б) <i>периодические издания</i> .....	10
в) <i>список авторских методических разработок</i> .....	10
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....	10
<b>VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	11
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	11
6.2. Программное обеспечение: .....	11
6.3. Технические и электронные средства: .....	11
<b>VII. Образовательные технологии</b> .....	11
<b>VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации</b> .....	11
 <b>ПРИЛОЖЕНИЕ: Фонд оценочных средств</b> .....	 12

## I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Нейтринная астрофизика - разделы астрофизики высоких энергий, открывающие новое окно в астрономии, расширяющие исследования высокоэнергетических процессов в Галактике и во внегалактических объектах.

Цель курса «Нейтринная астрофизика» : 1) изучение процессов в астрофизических объектах – вероятных источников нейтрино в широком диапазоне энергий (МэВ - ПэВ); 2) изучение методов регистрации нейтринного излучения высокой энергии и существующих детекторов космических нейтрино.

В результате изучения курса студент приобретает фундаментальные знания о процессах генерации нейтрино в астрофизических объектах (включая Солнце и Землю), знакомится с принципами и методами регистрации нейтринного излучения высоких и сверхвысоких энергий и работой современных крупномасштабных установок (нейтринных телескопов).

### Задачи курса

Ввести студентов в круг проблем современной нейтринной астрофизики, дать представление о физических процессах в астрофизических источниках излучения высокой энергии, познакомить с результатами измерений космического излучения, принципами работы крупномасштабных установок для детектирования астрофизических нейтрино, изучить специальные методы решения астрофизических задач. В рамках курса «Нейтринная астрофизика» студенты изучают основы устройства астрофизических объектов потенциальных источников космических лучей, гамма-квантов и нейтрино, и механизмы генерации высокоэнергетического космического излучения.

## II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Курс «Нейтринная астрофизика» предназначен для подготовки магистра по направлению 03.04.02 «Физика», способного работать в составе коллектива исследователей, проводящих эксперименты на гигантских установках по регистрации космического излучения. В результате изучения данной дисциплины специалист должен знать современное состояние исследований в области нейтринной астрофизики, принципы регистрации нейтрино в широком диапазоне энергий, иметь представление о детекторах астрофизических нейтрино, понимать широкую постановку астрофизических задач.

Изучение курса предполагает наличие полученных на предыдущем уровне образования основных знаний, умений и компетенций по дисциплинам «Дифференциальные уравнения», «Методы математической физики», «Квантовая теория», «Термодинамика и статистическая физика», «Ядерная физика», «Теория электрослабых взаимодействий», «Астрофизика высоких энергий».

## III. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1: Способен использовать астрофизические методы в научных исследованиях.

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-1	ИДК ПК.1.1 Способен использовать астрофизические методы для описания процессов в астрофизических исследова-	<b>Знать:</b> основные закономерности процессов, происходящих в звездах главной последовательности, и вне ее, характер процессов генерации космического излучения высокой и сверхвысокой энергии; принципы его детектирования, основные методы решения задач нейтринной астро-

	ниях	физики, иметь представление о пакетах программ моделирования отклика детектора на излучение <b>Уметь:</b> получать простые модельные оценки характеристик космического нейтринного излучения, и предполагаемой статистики событий в детекторе. <b>Владеть:</b> математическим аппаратом описания генерации излучения в источнике и прохождения излучения через вещество
--	------	---

#### IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часов,

в том числе 48 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 18 аудиторных часов (во время практических занятий).

Форма промежуточной аттестации: Экзамен.

**4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	<u>Темы 1-10</u>	3	111	18	18	18	2	73	Практическое задание, опрос
	КОНТРОЛЬ		4						
	КСР		6						
	Экзамен		23						Вопросы к экзамену
	<b><u>Итого часов</u></b>		<b>144</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>73</b>	

**4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
1	Все темы	Решение задач	В течение семестра	56	Готовое решение задачи в письменном виде	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; Образовательные ресурсы, доступные по логину и паролю, предоставляемым Научной библиотекой ИГУ.
1	Подготовка к экзамену	Работа с учебной литературой	В течение семестра	12	Устный ответ	
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>73</b>		

### 4.3. Содержание учебного материала

**Тема 1.** Свойства нейтрино. Ограничения на массу, время жизни, заряд и магнитный момент. Нейтрино в Стандартной Модели, дираковские и майорановские нейтрино, гипотезы происхождения массы нейтрино. Лептонные числа и гипотеза нейтринных осцилляций.

**Тема 2.** Рассеяние нейтрино на электронах, нуклонах, процессы с заряженными и нейтральными токами. Сечения  $\nu e$  и  $\nu N$ -рассеяния, оценка пробега нейтрино до взаимодействия. Взаимодействие нейтрино с ядрами, когерентное рассеяние на ядрах.

**Тема 3.** Нейтринное излучение Солнца. Генерация нейтрино в цепочках термоядерных реакций на Солнце. Результаты экспериментов с солнечными нейтрино.

**Тема 4.** Нейтринные осцилляции в веществе, эффект Михеева-Смирнова-Вольфенштейна. Конверсия нейтрино как решение проблемы солнечных нейтрино. Параметры смешивания солнечных нейтрино. Эксперименты с реакторными и ускорительными нейтрино.

**Тема 5.** Эволюция звезд, диаграмма Герцшпрунга-Ресселла. Классификация сверхновых. Сверхновые типа II, динамика коллапса ядра массивной звезды. Роль нейтрино в гравитационном коллапсе звезд. Нейтринное излучение от сверхновых.

**Тема 6.** Сверхновая SN 1987A. Регистрация нейтринного импульса от SN 1987A, ограничения на свойства нейтрино, полученные на основе детектирования нейтринного импульса. Детекторы нейтрино от сверхновых: АСД, БПСТ, IMB, LVD, S-K, SNO.

**Тема 7.** Космологические ограничения на массу и число сортов нейтрино. Космогенные нейтрино:  $\nu\mu$ - и  $\nu\tau$ -нейтрино от взаимодействия космических лучей с реликтовыми фотонами, с веществом и радиационными полями межзвездной среды.

**Тема 8.** Галактические и внегалактические источники нейтрино, диффузные потоки нейтрино высоких энергий. Ограничения на потоки из измерений космических лучей и гамма-излучения высокой энергии.

**Тема 9.** Активные галактические ядра (AGN) как источники нейтрино высоких энергий. Возможные механизмы генерация нейтрино в источниках космологических гамма-всплесков (GRB).

**Тема 10.** Атмосферные нейтрино как фон для астрофизических нейтрино и калибровка нейтринных телескопов. Спектры и зенитно-угловые распределения атмосферных нейтрино.

**Тема 11.** Прохождение нейтрино высоких энергий через плотное вещество. Уравнение переноса нейтрино, поглощение и регенерация нейтрино. Специфика переноса электронных антинейтрино. Резонанс Глэшоу.

**Тема 12.** Принципы регистрации нейтрино от астрофизических источников: а) радиохимические детекторы, б) сцинтиляционные детекторы, в) черенковские детекторы, г) радиодетектирование, в) акустические детекторы. Измерения спектров солнечных и атмосферных нейтрино.

**Тема 13.** Крупномасштабные подводные и подледные черенковские детекторы (нейтринные телескопы) – Baikal-GVD, ANTARES, IceCube, KM3NeT. Регистрация диффузного потока астрофизических нейтрино высоких энергий и нейтрино от локальных источников.

**Тема 13.** Методы обработки: трековые и ливневые события, HESE veto (contained events); отбор трековых событий в направлении снизу-вверх (through-going events). Восстановление спектра нейтрино из зарегистрированных событий, угловое распределение, оценки флейворного состава потока астрофизических нейтрино.

**Тема 13.** Проекты нейтринных телескопов следующего поколения, ожидаемая регистрация ГЗК-нейтрино и другие перспективы нейтринной астрофизики.

### Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий

№ п/п	Наименование темы	Виды занятий в часах			
		Л	ПЗ	СРС	Всего
1	Нейтрино в Стандартной Модели	1	2	8	11
2	Нейтрино в Стандартной Модели. Рассеяние нейтрино на электронах, нуклонах и ядрах	2	2	5	9
3	Генерация нейтрино в цепочках термоядерных реакций на Солнце.	1	2	8	11
4	Нейтринные осцилляции	2	2	8	12
5	Нейтринное излучение при вспышках сверхновых	2	2	8	12
6	Регистрация нейтринного импульса от SN 1987A	2	2	8	12
7	Диффузные потоки нейтрино высоких энергий	2	2	8	12
8	Атмосферные нейтрино	2	2	8	12
9	Прохождение нейтрино высоких энергий через вещество	2	2	6	10
10	Нейтринные телескопы	2	-	6	8

#### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
1	Тема 1, 2	Рассеяние нейтрино на лептонах, нуклонах и ядрах	4	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
2	Тема 3	Генерация нейтрино в термоядерных реакциях на Солнце. Результаты экспериментов по регистрации солнечных нейтрино	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
3	Тема 4	Нейтринные осцилляции в веществе, конверсия нейтрино, параметры смешивания солнечных нейтрино	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
4	Тема 5, 6	Гравитационный коллапс массивных звезд, вспышки	2	Задание на семинаре в	ПК-1

		сверхновых, нейтринное излучение, нейтринный импульс от SN 1987A		виде задачи	
5	Тема 7	Диффузные потоки нейтрино высоких энергий	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
6	Тема 8	Атмосферные нейтрино	2	Задание на семинаре в виде задачи	ПК-1
7	Тема 9	Прохождение нейтрино высоких энергий через вещество	2	Контрольная работа	ПК-1

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Свойства нейтрино в Стандартной Модели	Внеаудиторная, решение задач	Свойства нейтрино, дираковская и майорановская масса, гипотеза нейтринных осцилляций	Источники из основной и дополнительной литературы по теме практических занятий; образовательные ресурсы Научной библиотекой ИГУ, сайта физического факультета ИГУ. база данных по физике inspirehep.net	4
2	Взаимодействие нейтрино с веществом		Вычисление сечений рассеяния нейтрино на электронах и нуклонах в кварк-партоновой модели. Оценки пробега нейтрино до взаимодействия, процессы с заряженными и нейтральными токами.		4
3	Нейтринное излучение Солнца		Генерация нейтрино в цепочках термоядерных реакций на Солнце. Вычисление энергетического спектра солнечных нейтрино		6
4	Нейтринное излучение сверхновых		Расчет спектров нейтрино от вспышки сверхновой		6
5	Нейтринные события в детекторе		Оценка числа событий в детекторах нейтрино от вспышек сверхновых		6
6	Свойства нейтрино		Ограничения на свойства нейтрино на основе детектирования нейтринного импульса от SN 1987A		6
7	Образование нейтронной звезды		Оценить радиуса нейтриносферы протонейтронной звезды $R_\nu$ . Каково соотношение между $R_{\nu_e}$ , $R_{\nu_\mu}$ и $R_{\nu_\tau}$ ?		6
8	Процесс переноса нейтрино в протонейтронной звезде		При каких условиях происходит захват нейтрино в мантии протонейтронной звезды?		6
9	Механизм нейтринного нагрева веществ за фронтом УВ в коллапсирующей звезде		Оценить передачу энергии от нейтрино за фронтом УВ, достаточную для сброса звездной оболочки		6



10	Космогенные $p\bar{p}$ - и $pp$ -нейтрино		Космогенные нейтрино: $p\bar{p}$ - и $pp$ -нейтрино от взаимодействия космических лучей с реликтовыми фотонами, с веществом и радиационными полями межзвездной среды		6
11	Галактические и внегалактические источники нейтрино	Внеаудиторная, решение задач	Получить оценку диффузных потоков нейтрино на Земле, используя данные об интенсивности космического гамма-излучения		6
12	Атмосферные нейтрино как фон для астрофизических нейтрино		Расчет углового усиления потоков атмосферных мюонных нейтрино		5

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

В разделе 3.4.2 студентам для более углубленного изучения дисциплины предлагаются задачи и упражнения по изучаемым разделам. Предполагается, что студент самостоятельно изучит дополнительный материал из рекомендованной литературы (п. 5) и решит предложенные задачи. Оценка самостоятельной работы студентов проводится в виде домашних контрольных работ и опросов на практических занятиях.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Учебным планом не предусмотрено написание курсовых работ (проектов)

## V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### а) перечень литературы

#### *основная литература*

1. **Рэндалл, Лиза**. Достучаться до небес: научный взгляд на устройство Вселенной [Текст] : пер. с англ. / Л. Рэндалл. - М. : Альпина нон-фикшн, 2014. - 516 с. (2)
2. **Джаявардхана, Рэй**. Охотники за нейтрино. Захватывающая погоня за призрачной элементарной частицей [Текст] = Neutrino hunters. The Thrilling Chase for a Ghostly Particle to Unlock the Secrets of the Universe : пер. с англ. / Р. Джаявардхана. - М. : Альпина нон-фикшн, 2015. - 253 с. (1)
3. **Зельдович, Яков Борисович** Избранные труды [Текст] : в 2 кн. / Я. Б. Зельдович ; Рос. акад. наук. - 2-е изд., репринт. - М. : Наука, 2014. - . - 24 см. - ISBN 978-5-02-039072-0. **Кн. 2** : Частицы, ядра, Вселенная. - 2014. - 463 с. (1)

#### *дополнительная литература*

1. **Горбунов, Д.С.** Введение в теорию ранней Вселенной. Космологические возмущения. Инфляционная теория [Текст] : / Д. С. Горбунов, В. А. **Рубаков** ; Рос. акад. наук, Ин-т ядерных исслед. - М. : Красанд, 2010. - 555 с. (2)
2. **Синеговский, Сергей Иванович**. Космические нейтрино высоких энергий [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. И. **Синеговский**. - ЭВК. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2009. - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. Доступ.
3. **Бисноватый-Коган, Геннадий Семенович**. Релятивистская астрофизика и физическая космология [Текст] : научное издание / Г. С. Бисноватый-Коган. - М. : Красанд, 2011. - 363 с. (2)

### б) периодические издания

1. **А.А. Кочанов** и др. Характеристики потока нейтрино высоких энергий в атмосфере Земли // Солнечно-земная физика, 2015. -Т.1. -№ 4. - С.3.
2. **Sinegovskaya, T.S.** et al. High-energy neutrino fluxes and flavor ratio in the Earth's atmosphere // Phys. Rev. D, 2015. -V. 91. - 063011.

### в) список авторских методических разработок

1. В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу.

### г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- 1) [www.ni.com\russia](http://www.ni.com/russia)
- 2) <http://www.labview.ru/>
- 3) <http://library.isu.ru/ru>
- 4) ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 5) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 6) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 7) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>
- 8) <http://inspirehep.net/>, <http://arxiv.org/>

## VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

### 6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

Учебная аудитория для проведения лекционных и практических занятий. При чтении курса используются компьютер и мультимедийное оборудование. Лекции, материалы курса доступны на сайте [http://www.pd.isu.ru/sost/teor\\_phi/homepage/sinegovsky.html](http://www.pd.isu.ru/sost/teor_phi/homepage/sinegovsky.html).

### 6.2. Программное обеспечение:

Стандартные сервисы глобальной сети Интернет, стандартные средства просмотра презентаций и научных публикаций в электронном виде.

### 6.3. Технические и электронные средства:

Во время лекционных занятий студентам демонстрируются на экране материалы курса в виде презентаций.

## VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении задач;
- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине;
- **текущий контроль** работы студентов осуществляется через контрольные задания

## VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

### 8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен владеть основами физики и теоретической физики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль умений и знаний не проводится.

### 8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

#### Пример практического задания

**ЗАДАНИЕ 1** Нейтринный всплеск при гравитационном коллапсе звезды  
УСТНО:

1. Понятие радиуса нейтриносферы протонейтронной звезды  $R_\nu$ . Каково соотношение между  $R_{\nu_e}$ ,  $R_{\nu_\mu}$  и  $R_{\nu_\tau}$ .
2. При каких условиях происходит захват нейтрино в мантии протонейтронной звезды?
3. Принципиальный механизм нейтринного нагрева веществ за фронтом ударной волны в коллапсирующей звезде.

#### ПИСЬМЕННО:

1. Оцените энергию, уносимую нейтрино в гравитационном коллапсе звезды,

если в масса железного ядра (до коллапса) порядка солнечной массы, радиус ядра 3000 км, а радиус образующейся нейтронной звезды – 10 км.

2. Получите оценку пороговой энергии (в лаб. системе) для реакции рождения заряженного пиона протоном космических лучей на инфракрасном излучении. Какова максимальная энергия нейтрино от распада такого пиона?
3. Оцените зенитно-угловое усиление потоков атмосферных нейтрино от распадов пи- и К-мезонов, считая атмосферу Земли сферической изотермической.

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

#### Примерный список вопросов к экзамену:

1. Свойства нейтрино: тип, масса, лептонные числа, осцилляции.
2. Рассеяние нейтрино на электронах и нуклонах. Сечение  $\nu N$ -рассеяния в кварк-партонной модели. Оценки свободного пробега нейтрино.
3. Генерация нейтрино в цепочках термоядерных реакций на Солнце. Нейтринное излучение Солнца.
4. Общие представления о физических процессах, предшествующих вспышке сверхновой и сопровождающих ее.
5. Роль нейтрино в гравитационном коллапсе звезд. Нейтринное излучение при вспышках сверхновых.
6. Сверхновая SN 1987A. Регистрация нейтринного импульса от SN 1987A.
7. Механизмы генерации нейтрино в астрофизических источниках и в МЗС.
8. Активные ядра галактик и микроквазары как источники нейтрино: модели и оценки потоков.
9. Космологические гамма-всплески – гипотетические источники нейтрино высоких и сверхвысоких энергий, модели и оценки потоков нейтрино.
10. Атмосферные нейтрино как фон для астрофизических нейтрино, потоки прямых нейтрино.
11. Уравнение переноса нейтрино в веществе, поглощение и регенерация нейтрино. Эффект регенерации за счет рождения и распада мюонов. Специфика переноса электронных антинейтрино. Резонанс Глэшоу.
12. Принципы регистрации нейтрино высоких энергий от астрофизических источников. Нейтринные телескопы: HT200+, IceCube, ANTARES.

#### **Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше в п. III:**

1. Какой тип нейтрино обладает самой минимальной энергией:

- а). геонейтрино
- б). солнечные нейтрино
- в). реликтовые нейтрино

2. Какой тип нейтрино или антинейтрино в большинстве случаев рождается в результате распада заряженного пи-мезона:

- а). электронное
- б). мюонное
- в). тау-нейтрино

3. В каких взаимодействиях могут участвовать нейтрино:

- а). только в сильных
- б). в сильных и слабых
- в). в слабых

4. Матрица Понтекорво—Маки—Накагавы—Сакаты описывает:

- а). процесс смешивания кварков в Стандартной Модели
- б). процесс смешивания типов нейтрино
- в). такой матрицы не существует

5. Спиральностью частицы называется:

- а). способность частицы участвовать в осцилляциях
- б). число зарядовых состояний адрона
- в). проекция спина частицы на направление движения

**Разработчики:**



профессор кафедры теоретической физики

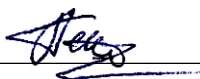
С.И. Синеговский

Документ составлен в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.04.02 "Физика" (квалификация (степень) «магистр»), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 07.08.2020г. № 914, зарегистрированного в Минюсте России 19 августа 2020 г. № 59329.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ

« 15 » марта 2023 г.

Протокол № 8, зав. кафедрой



В.Л. Паперный

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**