



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»  
Кафедра общей и космической физики



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.ДВ.10.01 Введение в экспериментальные методы астрофизики высоких энергий

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Тип образовательной программы: академический бакалавриат

Направленность (профиль) подготовки: Солнечно-земная физика

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 25 от «21» апреля 2020 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор  
 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:  
общей и космической физики  
Протокол № 7  
от «27» марта 2020 г.  
Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор  
 Паперный В.Л.

Иркутск 2020 г.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| <b>1. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....   | 3  |
| <b>2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП</b> .....  | 3  |
| <b>3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)</b> .....   | 3  |
| <b>4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)</b> .....                | 4  |
| <b>5. Содержание дисциплины (модуля)</b> .....  | 5  |
| 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля).....   | 5  |
| 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями) ..... | 5  |
| 5.3. Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий .....  | 6  |
| 5.4. Перечень лекционных занятий.....   | 6  |
| <b>6. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ</b> .....                                 | 7  |
| 6.1. План самостоятельной работы .....  | 7  |
| 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов .....                                | 8  |
| <b>7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)</b> .....                                      | 8  |
| <b>8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):</b> .....                           | 9  |
| а) <i>основная литература</i> .....   | 9  |
| б) <i>дополнительная литература</i> .....   | 9  |
| в) <i>программное обеспечение</i> .....   | 10 |
| г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....                                       | 10 |
| <b>9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):</b> .....  | 11 |
| <b>10. Образовательные технологии:</b> .....  | 11 |
| <b>11. Оценочные средства (ОС)</b> .....  | 12 |

**ПРИЛОЖЕНИЕ:** фонд оценочных средств

## 1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Дисциплина «Введение в экспериментальные методы астрофизики высоких энергий» относится к вариативной части образовательного цикла Б1 по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

**Целью** изучения дисциплины является углубить понимание студентами фундаментальных открытий в новейшей физике, научить решать вопросы современной науки с позиций системного подхода на основных этапах научно-исследовательской деятельности.

К **задачам** изучения дисциплины в соответствии с требованиями к компетенции направления подготовки бакалавров относятся:

- познакомить студента с общими характеристиками фотометрических приёмников;
- научить студентов работать с различным научным оборудованием;
- с помощью базовых методов и алгоритмов обработать полученные экспериментальные данные (включая написание компьютерной программы для такой обработки);
- познакомить с принципами работы фотоэлектронного умножителя и сцинтилляционного счетчика.

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

Организация учебного процесса при изучении данного курса соотносится с целями образования на современном этапе, а изучение некоторых разделов ориентировано на тематику научных исследований базового института кафедры – Института солнечно-земной физики СО РАН, телескопа МАСТЕР-Тунка на астрофизическом полигоне университета и глубоководного нейтринного телескопа на Байкале. Методика преподавания направлена на *системный подход к обучению и интеграцию* дисциплин естественнонаучного цикла, т. к. при изучении курса используются разделы и темы следующих дисциплин предыдущего уровня образования:

- физика (молекулярная физика и термодинамика, электродинамика, волновая оптика, атомная и ядерная физика, статистическая и квантовая физика, физика плазмы, физика элементарных частиц, теория относительности);
- высшая математика (дифференциальное и интегральное исчисление, элементы фрактальной геометрии).

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

По окончании изучения дисциплины «Экспериментальные методы в астрофизике высоких энергий» студент должен **знать**:

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач в астрофизике частиц высоких энергий;
- физические принципы основных методов исследования в астрофизике частиц высоких энергий;
- устройство и принцип действия фотоэлектронного умножителя и сцинтилляционного счетчика;

**уметь:**

- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов при исследовании в астрофизике частиц высоких энергий;
- применять физические теории к описанию соответствующих методов исследования в астрофизике частиц высоких энергий;
- применять методы и средства измерения физических величин;
- проводить измерения с помощью современного исследовательского оборудования;
- уметь проводить калибровку сцинтилляционного счетчика заряженных частиц.

**владеть:**

- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (ядерная астрофизика, физика космических излучений, физика звезд, космология)
- методиками построения моделей, описывающих процессы и детекторы в астрофизике частиц высоких энергий;
- основными приемами научно-исследовательской работы;
- навыками работы с современным математическим обеспечением для обработки солнечных и других наблюдений;
- методикой расчёта спектральных характеристик ФЭУ/

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1);
- способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы ( в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2).

**4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы (разделяется по формам обучения)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы (144 часов).

| Вид учебной работы                    | Всего часов<br>/ зачетных<br>единиц | Семестры |  |  |  |
|---------------------------------------|-------------------------------------|----------|--|--|--|
|                                       |                                     | 2        |  |  |  |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>     | 70/1.94                             | 70       |  |  |  |
| В том числе:                          |                                     |          |  |  |  |
| Лекции                                | 22/0.61                             | 22       |  |  |  |
| Практические занятия (ПЗ)             |                                     |          |  |  |  |
| Семинары (С)                          |                                     |          |  |  |  |
| Лабораторные работы (ЛР)              | 44/1.22                             | 44       |  |  |  |
| КСР                                   | 4/0.11                              | 4        |  |  |  |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b> | 38/1.06                             | 38       |  |  |  |
| В том числе:                          |                                     |          |  |  |  |

|   |                          |           |      |  |  |
|---|--------------------------|-----------|------|--|--|
| Проведение эксперимента в ходе лабораторных работ     | 20/0,56                  | 20        |      |  |  |
| Обработка экспериментальных данных                    | 6/0,16                   | 6         |      |  |  |
| Оформление отчетов по лабораторной работе             | 2/0,06                   | 2         |      |  |  |
| Подготовка к защите отчета по ЛР                      | 2/0,06                   | 2         |      |  |  |
| <i>Другие виды самостоятельной работы</i>             |                          |           |      |  |  |
| Решение практических задач                            | 2/0,06                   | 2         |      |  |  |
| Написание реферата                                    | 2/0,06                   | 2         |      |  |  |
| Подготовка доклада                                    | 2/0,05                   | 2         |      |  |  |
| Изучение материала для групповой дискуссии на занятии | 2/0,05                   | 2         |      |  |  |
|   |                          |           |      |  |  |
| Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)         | 36/1                     | 36        |      |  |  |
|   |                          |           |      |  |  |
| Общая трудоемкость                                    | часы<br>зачетные единицы | 144       | 144  |  |  |
|   |                          | 4         | 4    |  |  |
| <b>Контактная работа (всего)</b>                      |                          | 73.8/2.05 | 73,8 |  |  |

## 5. Содержание дисциплины (модуля)

### 5.1. Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)

Содержание теоретического раздела дисциплины:

**Тема 1.** Введение. Предмет изучения астрофизики высоких энергий. Первичные космические лучи (ПКЛ) сверхвысоких энергий. История открытия. Основные свойства.

**Тема 2.** Особенности энергетического спектра ПКЛ. Степенной характер спектра космических частиц. Обрезание спектра Грейзена-Зацепина-Кузьмина. Химический состав первичного космического излучения.

**Тема 3.** Геомагнитные эффекты в космических лучах.

**Тема 4.** Происхождение космических лучей (КЛ). Механизмы ускорения заряженных частиц в КЛ. Требования к мощности источников КЛ.

**Тема 5.** Происхождение космических лучей. Продолжение. Источники первичного космического излучения (диффузные, точечные, внегалактические). Галактические, внегалактические космические лучи.

**Тема 6.** Прохождение космических лучей через атмосферу земли. Основные процессы взаимодействия. Широкий атмосферный ливень (ШАЛ). Общие сведения. Компоненты ШАЛ.

**Тема 7.** Обзор методов регистрации первичного космического излучения (на спутниках, в атмосфере, наземные, подземные, подледные, подводные эксперименты).

**Тема 8.** Гамма-астрономия высоких энергий. Механизмы рождения гамма-квантов высоких энергий. Методы наблюдений.

**Тема 9.** Нейтрино в первичном космическом излучении. Источники нейтрино в природе. Нейтринная астрофизика высоких энергий. Методы детектирования нейтрино.

**Тема 10.** Крупнейшие комплексные установки для изучения космического излучения при высоких энергиях. Обсерватория TAIGA.

### 5.2 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)

Данный курс опирается на знания, полученные студентами в рамках следующих дисциплин (предыдущего уровня образования): курсы общей физики, теоретическая механика, электродинамика, квантовая механика, статистическая физика, астрофизика.

| № п/п | Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин         | № № разделов и тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин |
|-------|---|---|
| 1.    | Производственная практика (научно-исследовательская работа) | Все темы  |

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

| № п/п         | Наименование раздела | Виды занятий в часах |             |       |           |           | Всего     |
|---------------|----------------------|----------------------|-------------|-------|-----------|-----------|-----------|
|               |                      | Лек ц.               | Практ. зан. | Семин | Лаб. зан. | СРС       |           |
| 1             | Тема 1               | 4                    |             |       |           |           | 4         |
| 2             | Тема 2               | 2                    |             |       | 8         | 2         | 12        |
| 3             | Тема 3               | 2                    |             |       |           | 2         | 4         |
| 4             | Тема 4               | 2                    |             |       | 4         | 2         | 8         |
| 5             | Тема 5               | 2                    |             |       |           | 2         | 4         |
| 6             | Тема 6               | 2                    |             |       | 4         | 8         | 14        |
| 7             | Тема 7               | 2                    |             |       | 8         | 12        | 22        |
| 8             | Тема 8               | 2                    |             |       | 8         | 2         | 12        |
| 9             | Тема 9               | 2                    |             |       | 8         | 4         | 14        |
| 10            | Тема 10              | 2                    |             |       | 4         | 4         | 10        |
| <b>Итого:</b> |                      | <b>40</b>            | <b>22</b>   |       |           | <b>44</b> | <b>38</b> |

### 5.4. Перечень лекционных занятий

| № п/п | № раздела и темы дисциплины (модуля) | Наименование используемых технологий                   | Трудоемкость (часы) | Оценочные средства | Формируемые компетенции |
|-------|--------------------------------------|--|---------------------|--------------------|-------------------------|
| 1     | 2                                    | 3  | 4                   | 5                  | 6                       |
| 1.    | Тема 1                               | Вводная лекция   | 2                   | нет                | ПК1                     |
| 2.    | Темы 2                               | Информационная лекция с элементами лекции-визуализации | 4                   | Приведены в п.11   | ПК2                     |
| 3.    | Тема 3                               |  | 2                   |                    | ПК1                     |
| 4.    | Тема 4                               |  | 2                   |                    | ПК2                     |
| 5.    | Тема 5                               |  | 2                   |                    | ПК2                     |
| 6.    | Тема 6                               |  | 2                   |                    | ПК2                     |
| 7.    | Тема 7                               |  | 2                   |                    | ПК1<br>ПК2              |
| 8.    | Тема 8                               |  | 2                   |                    | ПК1<br>ПК2              |
| 9.    | Тема 9                               |  | 2                   |                    | ПК2                     |
| 10.   | Тема 10                              |  | 2                   |                    | ПК2                     |

## 6. 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 2                               | Особенности энергетического спектра ПКЛ   | 1                   | Опрос на практическом занятии. Совместное решение кейс-задачи | ,ПК1<br>ПК2             |
| 2.    | Тема 3                               | Геомагнитные эффекты в космических лучах.   | 1                   |   |                         |
| 3.    | Тема 4-5                             | Происхождение космических лучей   | 2                   |   |                         |
| 4.    | Тема 6                               | Прохождение космических лучей через атмосферу земли   | 2                   |   |                         |
| 5.    | Тема 7                               | Обзор методов регистрации первичного космического излучения   | 2                   |   |                         |
| 6.    | Тема 9                               | Нейтрино в первичном космическом излучении  | 2                   |   |                         |
| 7.    | Тема 2                               | Обрезание спектра Грейзена-Зацепина-Кузьмина.   | 2                   | Выполнение практического задания                              | ПК1<br>ПК2              |
| 8.    | Тема 4                               | Механизмы ускорения заряженных частиц в космических лучей   | 2                   |   |                         |
| 9.    | Тема 6                               | Исследование характеристик ФЭУ  | 6                   | Выполнение эксперимента, оформление и защита отчёта           | ПК1<br>ПК2              |
| 10.   | Тема 6                               | Калибровка сцинтилляционного счетчика заряженных частиц   | 6                   |   |                         |
| 11.   | Тема 7                               | Изучение состава космического излучения   | 6                   |   |                         |
| 12.   | Тема 7                               | Измерение углового распределения жесткой компоненты космического излучения  | 6                   |   |                         |
| 13.   | Тема 10                              | Моделирование широких атмосферных ливней космических лучей сверхвысоких энергий (12 часов), обработка и анализ астрофизических данных | 6                   |   |                         |

### 6.1. План самостоятельной работы

| № нед. | Тема     | Вид самостоятельной работы | Задание   | Рекомендуемая литература     | Количество часов |
|--------|----------|----------------------------|---|------------------------------|------------------|
| 1.     | Все темы | -внеаудиторная             | - прочитать литературу по указанной преподавателем теме;<br>- подготовить доклад;<br>написать реферат;<br>решить домашнюю задачу. | Вся рекомендуемая литература | 8                |

|    |              |  |  |                              |    |
|----|--------------|--|--|------------------------------|----|
|    |              | -аудиторная                            | - на практическом занятии выполнить текущее задание;<br>- представить доклад в устной форме и/или участвовать в дискуссии. |                              |    |
| 2. | Темы 6,7, 10 | аудиторная                             | - выполнить все задания практической работы;<br>- ответить на контрольные вопросы.   |                              | 30 |
| 3. | Все темы     | Подготовка к зачёту (и к тестированию) |  | Вся рекомендуемая литература | 2  |

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий, при выполнении практических заданий.
- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных и творческих задач.

Самостоятельная работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

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

Курсовых работ и проектов не планируется.

Примерный список тем рефератов (в случае выдачи соответствующего задания):

- Наземные, подземные, глубоководные и космические лаборатории.
- Примеры подземных лабораторий.
- Высокогорные эксперименты.
- Глубоководные исследования.
- Баллонные эксперименты.
- Использование спутников и межпланетных станций.

**8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):****а) основная литература**

- 1) Мурзин, В. С. Астрофизика космических лучей [Текст : Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / В. С. Мурзин. - Москва : Логос, 2007. - 487 с. ; нет. - (Классический университетский учебник). - Режим доступа: ЭБС "Рукопт". - Неогранич. доступ.
- 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

**б) дополнительная литература**

- 1) Экспериментальная ядерная физика [Электронный ресурс] : учебник : в 3 т. - Электрон. текстовые дан. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ.  
Т. 1 : Физика атомного ядра / К. Н. Мухин. - Москва : Лань, 2009. - 336 с. : ил. - ). - ISBN 978-5-8114-0740-8. - ISBN 978-5-8114-0738-5  
Т. 3 : Физика элементарных частиц / К. Н. Мухин. - Москва : Лань, 2008. - 336 с. : ил. - ). - ISBN 978-5-8114-0740-8. - ISBN 978-5-8114-0738-5
- 2) Высоцкий, М.И. Лекции по теории электрослабых взаимодействий [Электронный ресурс] / М. И. Высоцкий. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Физматлит, 2011. - 150, [1] с. [1] с. : ил. ; 22. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - Библиогр. в конце кн. (6 назв.). - ISBN 978-5-9221-1263-5
- 3) Проскурякова, Е. А. Физика элементарных частиц [Электронный ресурс] / Е. А. Проскурякова. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лань", 2016. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-2232-6

*сверено с ЭБС ИГУ*

*в) программное обеспечение*

- 1) NI LabVIEW™. Имеется коммерческая лицензия для учебных заведений (академическая лицензия со стандартной сервисной поддержкой, закупается ежегодно, 1 год).
- 2) NI ELVISmx Software for NI ELVIS II & NI myDAQ NI. – National Instruments. – версия периодически бесплатно автоматически обновляется с сайта производителя через сеть Интернет. Изначально прилагается вместе с драйверами к оборудованию NI ELVIS II & NI myDAQ – (проприетарное программное обеспечение, не требующая заключения коммерческого договора)
- 3) Microsoft Word и Microsoft Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету.
- 4) LibreOffice 5.3.2 (freeware бессрочно).
- 5) AcquireControl ©. – Copyright Allied Vision Technologies GmbH. – программа управления камерой Prosilica GT 2000 NIR. – лицензия FREEWARE. – бесплатное автоматическое обновление до новых версий через Интернет с сайта производителя. – <https://www.alliedvision.com/en/products/software/acquirecontrol.html>
- 6) GNU Octave, version 4.0.0 © 2015. – FREEWARE. – программа математической обработки данных, поддерживающая формат файлов «.m». – свободное программное обеспечение с открытым кодом. – бессрочно
- 7) SciDAVis 1.D013. – FREEWARE. – программа обработки данных и представления их в графической форме. – бессрочно

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

- 1) Сайт журнала "Успехи физических наук" <http://ufn.ru/>
- 2) Сайт журнала "Astroparticle Physics" <http://www.journals.elsevier.com/astroparticle-physics/>
- 3) Сайт журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра" [http://www1.jinr.ru/Pepan/Pepan\\_rus.html](http://www1.jinr.ru/Pepan/Pepan_rus.html)
- 4) [www.ni.com/russia](http://www.ni.com/russia)
- 5) <http://www.labview.ru/>
- 6) <http://library.isu.ru/ru>
- 7) ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- 8) ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- 9) ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- 10) ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

11) В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данной дисциплине.

### **9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

Для проведения занятий лекционного типа в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной экран (Classic Solution, T195x195/1MW-LU/B), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике плазмы (в печатном и в электронном виде). База экспериментальных астрофизических данных по широким атмосферным ливням космических лучей сверхвысоких энергий.

#### Оборудование:

- 1) Лабораторный стенд по исследованию характеристик ФЭУ с компьютером и соответствующим программным обеспечением.
- 2) Лабораторный стенд с сцинтилляционным счетчиком.
- 3) Лабораторный стенд для калибровки сцинтилляционного счетчика заряженных частиц, изучения состава космического излучения (КИ) с телескопом и измерения углового распределения жесткой компоненты КИ, состоящий из двух сцинтилляционных счетчиков.
- 4) Лабораторный комплекс NI ELVIS II.
- 5) Ноутбуки Lenovo B590 (4 шт.), с установленной на них поставщиком операционной системой Windows 8 (WIN8 EM), пакетом LibreOffice, драйверами устройств лабораторного комплекса NI ELVIS II, драйверами для управления ПЗС-камерой.
- 6) Имеются списки заданий и методическое руководство в электронном и печатном виде, в том числе в авторском учебном пособии.

### **10. Образовательные технологии:**

Проводятся следующие виды занятий: лекции, практические занятия. В качестве дополнительной самостоятельной студенты могут писать реферат на выбранную преподавателем тему, а также готовить доклад. На практических занятиях студенты проводят эксперимент в соответствии с указаниями преподавателя, оформляют отчет и отвечают на контрольные вопросы.

## 11. Оценочные средства (ОС)

### 11.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не предусмотрен.

### 11.2. Оценочные средства текущего контроля

Форма текущего контроля: собеседование во время практических работ, проверка отчетов, ответы на контрольные вопросы, проверка домашних задач, представление докладов. Для допуска к зачёту требуется полностью выполнить все практические работы, сдать отчеты и обсудить с преподавателем полученные результаты по каждой работе (в том числе ответить на контрольные вопросы), получив при этом отметку о сдаче.

Вид промежуточной аттестации: – зачет.

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

### Список практических работ

#### № 1. Исследование характеристик ФЭУ.

Цель работы: исследовать основные характеристики ФЭУ

Оборудование: лабораторный стенд с ФЭУ, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;
- 2) Получить осциллограммы темнового и рабочего сигналов ФЭУ;
- 3) Оцифровать сигналы ФЭУ (темновой, рабочие сигналы с сильной засветкой) при разных напряжениях питания;
- 4) Написать программу построения амплитудного распределения импульсов ФЭУ в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 5) Качественно оценить порог дискриминации ФЭУ.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. На каких двух физических явлениях основана работа фотоэлектронного умножителя?
2. Перечислите основные параметры фотоэлектронного умножителя.
3. Какой физический смысл имеет формула Эйнштейна для фотоэффекта?
4. Что такое вторичная электронная эмиссия и как определяется коэффициент этого явления?
5. Можно ли в качестве металла для эмиттера использовать такие, у которых коэффициент вторичной эмиссии меньше единицы?

#### № 2. Калибровка сцинтилляционного счетчика заряженных частиц.

Цель работы: исследовать основные характеристики сцинтилляционного счетчика

Оборудование: лабораторный стенд с сцинтилляционным счетчиком, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;

- 2) Произвести набор экспериментальных данных при разных значениях высокого напряжения;
- 3) Написать программу построения амплитудного распределения одиночной частицы в сцинтилляционном счетчике в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 4) Качественно оценить эффективность сцинтилляционного счетчика.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как устроен сцинтилляционный счетчик?
2. Перечислите основные характеристики фотоэлектронных умножителей.
3. Перечислите основные характеристики сцинтилляторов.
4. Каков состав вторичного космического излучения на уровне моря?

### **№ 3. Изучение состава космического излучения.**

Цель работы: исследовать кривую поглощения вторичного космического излучения

Оборудование: телескоп, состоящий из двух сцинтилляционных счетчиков, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC, свинцовый фильтр.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;
- 2) Провести относительную временную и амплитудную калибровку сцинтилляционных счетчиков;
- 3) Произвести набор экспериментальных данных при разной толщине свинцового поглотителя;
- 4) Написать программу отбора событий телескопа в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 5) Построить кривую поглощения и качественно оценить результат.

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как устроен сцинтилляционный счетчик?
2. Каков вклад случайных совпадений в работу телескопа?
3. Какова интенсивность мягкой и жесткой компонент вторичного космического излучения на уровне моря и на уровне проведения лабораторной работы?

### **№ 4. Измерение углового распределения жесткой компоненты космического излучения.**

Цель работы: Измерение углового распределения жесткой компоненты космического излучения, оценка время жизни мюона.

Оборудование: телескоп, состоящий из двух сцинтилляционных счетчиков, источник высокого напряжения, компьютер, рабочая станция NI ELVIS II, кабели с разъемом типа BNC, свинцовый фильтр.

Задачи работы:

- 1) Познакомиться с некоторыми элементами рабочей станции NI ELVIS II;
- 2) Определить подходящую толщину свинцового поглотителя.
- 3) Произвести набор экспериментальных данных телескопа при разных зенитных углах.
- 4) Написать программу отбора событий телескопа в среде графического программирования LabVIEW и с ее помощью обработать экспериментальные данные;
- 5) Получить угловую зависимость интенсивности  $I$  жесткой компоненты вторичных космических лучей и качественно оценить результат.
- 6) По величине  $I(\Theta) = I(0)$ , взятой из экспериментального графика для некоторого угла (например,  $\Theta = 60^\circ$ ), оценить время жизни мюона  $\tau_0$ .

Контрольные вопросы и упражнения:

1. Как зависит интенсивность космических лучей от направления прихода?
2. Что определяет интенсивность мюонов?
3. Принцип работы сцинтилляционных счетчиков.
4. Чему равен распадный пробег мюона с энергией 2 ГэВ?

**№ 5. Моделирование широких атмосферных ливней космических лучей сверхвысоких энергий, обработка и анализ астрофизических данных.****11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации**Примерный список вопросов к зачёту:

1. Энергетический спектр первичного космического излучения и его основные особенности
2. Ядерный состав космического излучения и его особенности.
3. Механизмы ускорения заряженных частиц в КЛ.
4. Требования к мощности источников КЛ.
5. Источники ПКЛ сверхвысоких энергий (диффузные, точечные, внегалактические)
6. Широкий атмосферный ливень (ШАЛ). Общие сведения. Компоненты ШАЛ.
7. Методы регистрации первичного космического излучения (на спутниках, в атмосфере, наземные, подземные, подледные, подводные эксперименты).
8. Черенковское излучение ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие черенковское излучение ШАЛ.  
Мюонная компонента ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие мюонную компоненту ШАЛ.
9. Ионизационное свечение ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие ионизационное свечение ШАЛ.
10. Радиоизлучение ШАЛ. Эксперименты, регистрирующие радиоизлучение ШАЛ.
11. Обсерватория TAIGA.
12. Гамма-астрономия высоких энергий. Механизмы рождения гамма-квантов высоких энергий.
13. Крупнейшие комплексные установки для изучения космического излучения при высоких энергиях.
14. Источники нейтрино в природе. Методы регистрации природных потоков нейтрино высоких энергий.

Задания для теста по данному курсу представлены в фондах оценочных средств (см. приложение)

**Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше п.3:**

1. Энергетический спектр космических лучей сверхвысоких энергий:
  - А) описывается степенным законом,
  - Б) подчиняется планковскому распределению.
2. Степенной вид спектра свидетельствует:
  - А) о нетепловой природе излучения;
  - В) о том, что излучение генерируется за счет энергии теплового движения частиц.
3. 1 пк в сантиметрах составляет:
  - А)  $3 \cdot 10^8$  см,
  - В)  $18 \cdot 10^3$  см,
  - С)  $3 \cdot 10^{18}$  см.

4. Оцените пробег протона до взаимодействия с реликтовым излучением  $l = \frac{1}{n\sigma}$  и сравните с характерным размером нашей галактики ( $d = 30$  Кпк,  $1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{18} \text{ см}$ ). Концентрация реликтового излучения  $n = 400$  фотонов/ $\text{см}^3$ , сечение реакции  $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-28} \text{ см}^2$ .
- А)  $l < d$ ,  
 В)  $l > d$ ,  
 С)  $l \approx d$ .
5. Распределите в порядке возрастания: 0.01 ПэВ, 100 ТэВ, 1 ЭэВ, 100 ГэВ.
- А) 0.01 ПэВ, 1 ЭэВ, 100 ГэВ, 100 ТэВ,  
 В) 100 ТэВ, 0.01 ПэВ, 100 ГэВ, 1 ЭэВ,  
 С) 100 ГэВ, 0.01 ПэВ, 100 ТэВ, 1 ЭэВ.
6. Порог реакции  $p + \gamma_{CMB} \rightarrow \pi^+ + n$  соответствует такому значению энергии протона, при котором кинетические энергии и соответственно импульсы образовавшихся пиона и нуклона в системе центра масс:
- А) = 0,  
 В)  $\gg 0$ ,  
 С)  $> 0$ .
7. Расстояние  $l$ , которое пройдет за время своей жизни  $t$  релятивистский мюон с энергией  $E$ , собственным временем жизни  $t_0$  и энергией покоя  $E_0$ , определяется соотношением:
- А)  $l = ct_0 \frac{E}{E_0} \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}$ ,  
 В)  $l = ct_0 \frac{E}{E_0}$ .
8. Частица в среде с показателем преломления  $n$  начинает излучать черенковское излучение, если её гамма-фактор:
- А)  $\gamma < \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}$ ,  
 В)  $\gamma > \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}$ .

**Разработчики:**

  
(подпись)

доцент, к.ф.-м.н.  
(занимаемая должность)

А.Л. Иванова  
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ  
« 27 » марта 2020 г.

Протокол № 7, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

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