



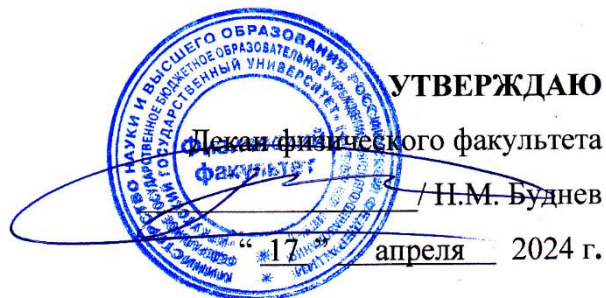
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.01 Экспериментальные методы в астрофизике
высоких энергий

Направление подготовки: 03.04.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Астрофизика высоких энергий

Квалификация выпускника: магистр


Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:

общей и космической физики

Протокол № 8

от «22» марта 2024 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2024 г.

Содержание

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)	3
II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО	3
III. Требования к результатам освоения дисциплины	3
IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)	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	6
4.3. Содержание учебного материала	7
4.3.1 Перечень лекционных занятий	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	8
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	9
V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)	10
а) <i>перечень литературы</i>	10
б) <i>периодические издания</i>	11
в) <i>список авторских методических разработок</i>	11
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i>	11
VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	11
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	11
6.2. Программное обеспечение:	12
6.3. Технические и электронные средства:	12
VII. Образовательные технологии	12
VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации	12
ПРИЛОЖЕНИЕ: фонд оценочных средств	

I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Дисциплина «Экспериментальные методы в астрофизике высоких энергий» входит в часть, формируемую участниками образовательных соотношений, блока Б1 ОПОП по направлению 03.04.02 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 магистров относятся:

- познакомить студента с основными закономерности в области теоретической и экспериментальной физики высоких энергий;
- научить студентов решать типичные задачи с основными процессами физики элементарных частиц.

II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

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).

III. Требования к результатам освоения дисциплины

Изучение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

- Способен использовать астрофизические методы в научных исследованиях (ПК-1);
- Способность организовывать и проводить научно-исследовательскую и опытно-конструкторскую работу, и определять сферы применения их результатов (ПК-2).

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

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
<i>ПК-1</i>	<i>ИДК ПК.1.1</i> Способен использовать астрофизические методы для описания процессов в астрофизических исследованиях	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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; <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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; <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методиками построения моделей, описывающих процессы и детекторы в астрофизике частиц высоких энергий;
<i>ПК-2</i>	<i>ИДК ПК.21</i> Знает отечественный и международный опыт в соответствующей области исследований	<p>знать отечественный и международный опыт в астрофизике высоких энергий</p> <p>владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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)

IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часов,

в том числе 45 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 20 часов (в рамках самостоятельной работы).

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	Тема 1. Введение. Предмет изучения астрофизики высоких энергий.	2	10,1	4	2		0,1	8	Опрос, дискуссия
2	Тема 2. Особенности энергетического спектра ПКЛ.	2	12,1	4	4		0,1	8	
3	Тема 3. Геомагнитные эффекты в космических лучах.	2	16,1	2	4		0,1	12	
4	Тема 4. Происхождение космических лучей (КЛ)	2	12,1	2	4		0,1	8	
5	Тема 5. Происхождение космических лучей	2	12,1	2	4		0,1	8	
6	Тема 6. Прохождение космических лучей через атмосферу земли	2	12,1	2	4		0,1	8	
7	Тема 7. Обзор методов регистрации первичного космического излучения (на спутниках, в атмосфере, наземные, подземные, подледные, подводные эксперименты)	2	16,1	2	4		0,1	12	
8	Тема 8. Гамма-астрономия высоких энергий	2	16,1	2	4		0,1	12	
9	Тема 9-10. Крупнейшие комплексные установки для изучения космического излучения	2	10,2		4		0,2	6	
	Экзамен		17						
	КСР								
	Контроль		10						
Итого часов			144	20	34		1	82	

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 разделы	Решение задач	В течение семестра	61	Готовое решение задачи в письменном виде	[1-2]
1	Подготовка к дискуссии на аудиторных занятиях	Работа с учебной литературой	В течение семестра	21	Дискуссия	[1-2]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				82		

4.3. Содержание учебного материала

- 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.

4.3.1 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	2	Приведены в п.8	ПК1
3.	Тема 3		2		ПК1
4.	Тема 4		4		ПК1
5.	Тема 5		4		ПК1
6.	Тема 6		4		ПК1
7.	Тема 7		4		ПК2
8.	Тема 8		4		ПК1
9.	Тема 9		4		ПК1
10.	Тема 10		4		ПК2

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.	Все темы	-внеаудиторная -аудиторная	- прочитать литературу по указанной преподавателем теме; - подготовить доклад; написать реферат; решить домашнюю задачу. - ответить на контрольный вопрос; - представить доклад в устной форме и/или участвовать в дискуссии.	Вся рекомендуемая литература	61
2.	Темы 6,7, 10	аудиторная	- выполнить все задания самостоятельной работы; - ответить на контрольные вопросы.		21
3.	Все темы	Подготовка к экзамену (и к тестированию)		Вся рекомендуемая литература	17

4.4. 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.

4.5. 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.

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

а) перечень литературы

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 "Руконт". - 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

дополнительная литература

- 1) Бережко, Евгений Григорьевич. Введение в физику космоса [Текст] : учеб. пособие для вузов по напр. подгот. 03.04.02 - Физика / Е. Г. Бережко. - М. : Физматлит, 2014. - 264 с. : ил. ; 21 см. - ISBN 978-5-9221-1587-2 – (1 экз)
- 2) Ишханов, Борис Саркисович. Частицы и атомные ядра : Учебник / Б. С. Ишханов, И. М. Капитонов, Н. П. Юдин ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Изд-во ЛКИ, 2007. - 581 с. : ил. ; 22 см. - (Классический университетский учебник). - Библиогр.: с. 572. - Предм. указ.: с. 573-576. - ISBN 978-5-382-00060-2 – (1 экз)
- 3) Клапдор-Клайнротхаус, Ганс Волкер. Астрофизика элементарных частиц [Текст] / Г.В. Клапдор-Клайнротхаус, Кау Цюбер ; Пер.с нем.,Под ред.А.А.Беднякова. - М. : Ред.журн."Успехи физич.наук", 2000. - 496 с. ; 22см. - ISBN 5855040127 – (1 экз)
- 4) Хлопов, Максим Юрьевич. Основы космофизики [Текст] : научное издание / М.Ю. Хлопов ; Моск. инж.-физич. ин-т, Науч.-учеб. центр по космофизике "Космион". - М. : Едиториал УРСС, 2004. - 366 с. ; 21 см. - Библиогр.: с. 351-366. - ISBN 5-354-00291-5 – (1 экз)
- 5) Горбунов, Дмитрий Сергеевич. Введение в теорию ранней Вселенной : Теория горячего Большого взрыва / Д. С. Горбунов ; Рос. акад. наук, Ин-т ядерных исслед. - М. : Изд-во ЛКИ, 2008. - 543 с. : ил. ; 24 см. - Библиогр.: с. 537-539. - Предм. указ.: с. 540-543. - ISBN 978-5-382-00657-4. – (1 экз)
- 6) Биленький, Самоил Михелевич. Лекции по физике нейтринных и лептон-нуклонных процессов [Текст] : курс лекций / С. М. Биленький. - М. : Энергоиздат, 1981. - 213 с. – (3 экз)
- 7) Зацепин, Георгий Тимофеевич. Нейтрино и нейтринная астрофизика [Текст] / Г. Т. Зацепин, А. Ю. Смирнов ; МГУ им. М. В. Ломоносова, НИИ ядер. физики, Физ. фак., Отд-ние ядер. физики, Каф. косм. лучей и физики космоса. - М. : Изд-во МГУ, 1984 - . - 21 см. - Ч. 1 : Нейтрино. - 1984. - 235 с. – (2 экз)

б) *периодические издания*

- нет необходимости.

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) 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
- 4) 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 дисциплине Б1.В.ОД.1 «Экспериментальные методы в астрофизике высоких энергий».

VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

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.

6.2. Программное обеспечение:

- 1) Microsoft Word и Microsoft Excel в составе пакета MS Office. Лицензия на новые версии периодически обновляется Центром новых информационных технологий ИГУ по всему университету.
- 2) LibreOffice 5.3.2 (freeware бессрочно).

6.3. Технические и электронные средства:

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

VII. Образовательные технологии

Проводятся следующие виды занятий: лекции. В качестве дополнительной самостоятельной студенты могут писать реферат на выбранную преподавателем тему, а также готовить доклад.

VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Входной контроль не предусмотрен.

8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Форма текущего контроля: дискуссии и контрольные опросы во время аудиторных занятий, ответы на контрольные вопросы, проверка домашних задач, представление докладов.

Вид промежуточной аттестации: – экзамен.

11.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Допуск экзамену: успешное выполнение лабораторных работ в рамках практикума "Лабораторный практикум по экспериментальным методам в астрофизике".

Примерный список вопросов к экзамену:

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.*

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

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;
 - Б) о том, что излучение генерируется за счет энергии теплового движения частиц.
3. 1 пк в сантиметрах составляет:
 - А) $3 \cdot 10^8$ см,
 - Б) $18 \cdot 10^3$ 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, $1 \text{ пк} = 3 \cdot 10^{18}$ см). Концентрация реликтового излучения $n = 400$ фотонов/см³, сечение реакции $\sigma \approx 3 \cdot 10^{-28}$ см².
 - А) $l < d$,
 - Б) $l > d$,
 - 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,
 - Б) 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,
 - Б) $\gg 0$,
 - 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) $l = ct_0 \frac{E}{E_0} \sqrt{1 - \left(\frac{E_0}{E}\right)^2}$,
 - Б) $l = ct_0 \frac{E}{E_0}$.
8. Частица в среде с показателем преломления n начинает излучать черенковское излучение, если её гамма-фактор:
 - А) $\gamma < \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}$,
 - Б) $\gamma > \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}}}$,


Разработчики:


(подпись)

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

А.Л. Иванова
(инициалы, фамилия)

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ
« 22 » марта 2024__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.