

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук  
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

УТВЕРЖДАЮ

Директор

С.В. Иванов

13» 04 2022 г.



Рабочая программа дисциплины

### ГАММА-АСТРОНОМИЯ

программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия

Принята решением Ученого совета  
от 04.03.2022 № 03/22

Санкт-Петербург

2022 г.

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями учебной дисциплины являются:

- создание у аспирантов комплекса знаний о фундаментальных физических процессах в космических источниках с экстремальным выделением энергии и сверхсильными магнитными полями, экспериментальных методах их исследования и специфике детектирования высокоэнергичного излучения;

- формирование представлений о природе и наблюдаемых особенностях космических источников высокоэнергичного излучения, физических процессов в экстремальных условиях недостижимых в наземных лабораториях, формах и механизмах конверсии энергии релятивистских течений в окрестности компактных гравитирующих объектов (черных дыр и замеченных нейтронных звезд) в наблюдаемое гамма-излучение;

- ознакомление аспирантов с последними достижениями в астрофизике высоких энергий и физике фундаментальных процессов.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ**

Дисциплина «Гамма-астрономия» входит в обязательную часть образовательного компонента программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия (далее – программа аспирантуры).

При ее изучении используются знания и навыки, полученные аспирантами при изучении курсов общей и теоретической физики и предшествующих курсов специальных дисциплин. Методической основой изучения дисциплины являются курсы теоретической физики, экспериментальной физики и общей астрофизики.

Актуальность изучения дисциплины определяется важной ролью астрофизики и космических исследований в современной науке и технике, необходимостью комплекса знаний и умений, приобретаемых в ходе изучения курса, для практических применений. Тематика курса соответствует приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники Российской Федерации: «Информационно-телекоммуникационные системы».

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Процесс изучения дисциплины «Гамма-астрономия» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с программой аспирантуры

### ***3.1. Универсальные компетенции:***

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);

- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);

- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);

- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

### ***3.2. Общепрофессиональные компетенции:***

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

### ***3.3. Профессиональные компетенции:***

- способность планировать, организовывать работу по проектам, требующим знания астрофизики и звездной астрономии (ПК-1);

- способность к теоретическому расчету необходимых астрофизических и астрономических величин (ПК-2);

- способность к разработке математических моделей, определяющих изучаемые процессы в астрофизике и звездной астрономии (ПК-3);

- способность получать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию по теме исследования, выбирать и обосновывать методики и средства решения поставленных задач (ПК-4).

По окончании изучения дисциплины аспиранты должны

**знать:**

- основные методы исследования источников космического гамма-излучения;

- фундаментальные физические законы, управляющие процессами формирования космических источников гамма-излучения;

- наблюдаемые характеристики известных источников гамма-излучения: солнечных вспышек, сверхновых звезд, гамма-пульсаров, гамма-всплесков, активных ядер галактик;

- основные методы и технологии, используемые в орбитальных и наземных (черенковских) детекторах космического гамма-излучения;

**уметь:**

- идентифицировать возможные типы космических источников гамма-излучения на основе анализа многоволновых наблюдений объектов;

- определять физические процессы ответственные за формирование наблюдаемых проявлений космических источников гамма-излучения;

**владеть опытом:**

- самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами гамма-астрономии и смежных дисциплин.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Приводимая ниже таблица показывает распределение бюджета учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса согласно учебному плану в объеме 72 часов/ 2 з.е.

| Наименование разделов и тем  | Трудоемкость (в ЗЕТ) | Объем работы (в часах) | Всего учебных занятий (в часах) |               |                        |          |
|--|----------------------|------------------------|---------------------------------|---------------|------------------------|----------|
|  |                      |                        | лекции                          | Лаб. / практ. | самостоятельная работа | контроль |
| <b>Раздел 1. Детектирование космического гамма излучения</b>                         |                      |                        |                                 |               |                        |          |
| Тема 1.1. Небо в гамма-лучах   |                      | 10                     | 5                               |               | 5                      |          |
| Тема 1.2. Детектирование гамма-излучения. Гамма-телескопы.                           |                      | 10                     | 5                               |               | 5                      |          |
| Тема 1.3. Механизмы генерации гамма-излучения  |                      | 10                     | 5                               |               | 5                      |          |
| Тема 1.4 Взаимодействие гамма-излучения с веществом, распространение гамма-излучения |                      | 10                     | 5                               |               | 5                      |          |
| <b>Всего по разделу</b>  |                      | <b>40</b>              | <b>20</b>                       |               | <b>20</b>              |          |
| <b>Раздел 2. Физика источников гамма излучения</b>                                   |                      |                        |                                 |               |                        |          |
| Тема 2.1. Гамма-всплески и блазары   |                      | 10                     | 5                               |               | 5                      |          |
| Тема 2.2. Сверхновые звезды и пульсары   |                      | 12                     | 6                               |               | 6                      |          |

|  |          |           |           |  |           |            |
|--|----------|-----------|-----------|--|-----------|------------|
| Тема 2.3. Гамма-излучения Солнца и солнечные вспышки |          | 10        | 5         |  | 5         |            |
| <b>Всего по разделу</b>                              |          | <b>32</b> | <b>16</b> |  | <b>16</b> |            |
| <b>Всего по дисциплине</b>                           | <b>2</b> | <b>72</b> | <b>36</b> |  | <b>36</b> | За-<br>чет |

#### *4.2. Содержание разделов и тем*

### **Раздел 1. Детектирование космического гамма излучения**

#### Тема 1.1. Небо в гамма лучах.

Обзор основных наблюдательных данных в историческом контексте с постановкой задач данного курса. История и перспективы развития гамма-астрономии в ФТИ им. Иоффе. Дискретные источники гамма-излучения и крупномасштабные протяженные гамма-источники - сверхкаверны и Ферми-сферы (Fermi-bubble). Гамма-излучение и фундаментальные физические проблемы: поиск темной материи и проверки моделей квантовой гравитации.

#### Тема 1.2. Детектирование гамма-излучения. Гамма-телескопы.

Взаимодействие гамма и рентгеновского излучения с веществом. Основные квантово-электродинамические процессы: фотоэффект, комптоновское рассеяние и образование электрон-позитронных пар фотоном в поле ядра. Принципы построения гамма-телескопов. Сцинтилляторы, комптоновские, пар-конверсионные, черенковские детекторы и их реализация в современных телескопах. Гамма-детекторы телескопов AGILE, Fermi, Swift, INTEGRAL, KONUS-Wind. Наземные детекторы космического гамма-излучения. Черенковские телескопы H.E.S.S., MAGIC, VERITAS проекты HAWK, CTA и ALEGRO.

#### Тема 1.3. Механизмы генерации гамма-излучения.

Излучение гамма-фотонов возбужденными ядрами. Источники неустойчивых ядер, связанные с процессами нуклеосинтеза в звездах: новые и сверхновые звезды. Механизмы возбуждения устойчивых ядер космическими лучами.

Ускорение релятивистских частиц в космических источниках. Неупругие взаимодействия релятивистских адронов и распад пионов. Тормозное, синхротронное и комптоновское излучение релятивистских электронов и позитронов. Механизмы излучения гамма-пульсаров.

Тема 1.4. Взаимодействие гамма-излучения с веществом, распространение гамма-излучения, распространение гамма-излучения.

Конверсия гамма-фотонов в электрон-позитронные пары при рассеянии на излучении в компактных источниках. Поглощение фотонов в сильных магнитных полях нейтронных звезд.

## **Раздел 2. Физика источников гамма излучения**

### **Тема 2.1. Гамма-всплески и блазары/**

Открытие гамма-всплесков, их наблюдательные проявления, временные и спектральные характеристики. Классификация гамма-всплесков. Физические механизмы формирования излучения гамма-всплесков. Модели излучения джетов черных дыр звездных масс. Физические механизмы послесвечения. Космологические гамма-всплески.

Мощные источники гамма-излучения, связанные со сверхмассивными черными дырами в активных ядрах галактик. Сейфертовские галактики и блазары.

### **Тема 2.2. Сверхновые звезды и пульсары.**

Механизмы вспышек сверхновых: коллапс ядра массивной звезды и физика термоядерных сверхновых типа Ia. Сверхновые звезды как источники энергии и химической эволюции газа в галактиках и скоплениях галактик. Гамма излучение сверхновых звезд: линии никеля и кобальта и их детектирование. Детектирование линий  $^{44}\text{Tl}$  в остатках сверхновых Кассиопея А и SN 1987А. Ускорение релятивистских частиц в остатках сверхновых и рождение происхождения космических лучей. Механизм Ферми ускорения заряженных частиц бесстолкновительными ударными волнами в оболочках сверхновых. Гамма-излучение остатков сверхновых звезд.

Процессы формирования периодической компоненты гамма-излучения пульсаров. Процессы излучения в сверхсильных магнитных полях магнетаров.

Релятивистские ветры пульсаров и формирование пульсарных туманностей. Крабовидная туманность как источник гамма-излучения.

### **Тема 2.3. Гамма излучение Солнца и солнечные вспышки.**

Гамма-излучение спокойного Солнца. Механизмы выделения энергии в солнечных вспышках. Процессы ускорения частиц и гамма излучение солнечных вспышек. Наблюдаемые спектры гамма-излучения Солнца. Излучение в гамма-линиях.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

Технология процесса обучения по дисциплине «Гамма-астрономия» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения) ;
- б) самостоятельная работа обучающихся;
- в) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончанию.

В учебном процессе используются как активные, так и интерактивные формы проведения занятий: дискуссия, метод поиска быстрых решений в группе, мозговой штурм.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мульти-

медийного обеспечения (ноутбук, проектор) и технологии проблемного обучения.

Презентации позволяют качественно иллюстрировать практические занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками. Кроме того, презентации позволяют четко структурировать материал занятия.

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что позволяет улучшить восприятие материала.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Гамма-астрономия» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

## **6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ**

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

### ***Комплект оценочных средств для текущего контроля***

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов реализуется в виде выступлений на семинарах по индивидуальным домашним заданиям, ответам на тестовые вопросники, проведением теоретических зачетов.

### **Перечень контрольных вопросов:**

1. Механизмы генерации гамма-излучения: излучение в линиях возбужденных ядер, неупругие взаимодействия релятивистских адронов, излучение релятивистских электронов и позитронов (тормозное, синхротронное и комптоновское).
2. Взаимодействие гамма и рентгеновского излучения с веществом. Детекторы гамма-излучения.

3. Гамма-телескопы: комптоновские, пар-конверсионные, черенковские.
4. Дискретные галактические источники гамма-излучения: гамма-пульсары и магнетары.
5. Гамма-пульсары (модели). Дискретные галактические источники гамма-излучения: сверхновые и остатки сверхновых.
6. Дискретные галактические источники гамма-излучения: пульсарные туманности, двойные рентгеновские системы.
7. Дискретные внегалактические источники гамма-излучения: активные ядра галактик и блазары.
8. Дискретные внегалактические источники гамма-излучения: нормальные галактики, галактики с активным звездообразованием, скопления галактик.
9. Космические гамма-всплески.
10. Крупномасштабные протяженные гамма-источники сверхкаверны и Ферми-сферы (Fermi-bubble).
11. Внегалактический фон гамма-излучения.
12. Гамма-излучение и фундаментальные физические проблемы: поиск темной материи и проверки моделей квантовой гравитации.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ***7.1. Основная литература***

1. Гинзбург В. Л. Теоретическая физика и астрофизика: Доп. главы. – М.: Наука, 1987
2. Хилльер Р. Гамма-астрономия. М.: Мир, 1987.

### ***7.2. Дополнительная литература***

1. Железняков В.В. Излучение в астрофизической плазме. М.: "Янус-К", 1997. - 528 с.

### ***7.3. Интернет-ресурсы***

#### **Отечественные журналы:**

1. Астрономический вестник ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7665](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7665);
2. Астрономический журнал ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7666](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7666);
3. Письма в астрономический журнал ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=79414](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=79414);
4. Геомагнетизм и аэрономия ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7765](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7765);
5. Исследование Земли из космоса ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7842](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7842);
6. Космические исследования ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7859](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7859);



7. Вестник МГУ. Часть 3. Физика, астрономия (<http://vnu.phys.msu.ru/toc/list>; доступ с 1985 по 2014).

8. Проблемы передачи информации  
([http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=ppi&wshow=details&option\\_lang=rus](http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=ppi&wshow=details&option_lang=rus);

9. Земля и Вселенная ([http://elibrary.ru/title\\_about.asp?id=7808](http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7808); доступ с 1965 по 2012).

#### **Отечественные журналы в переводе:**

1. Astronomy Reports (<http://link.springer.com/journal/11444>;
2. Astronomy Letters (<http://www.springerlink.com/content/119837/>;
3. Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory  
(<http://link.springer.com/journal/11989>;
4. Cosmic Research (<http://link.springer.com/journal/10604>;
5. Earth and Space Science  
(<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%292333-5084/>;
6. Geomagnetism and Aeronomy (<http://link.springer.com/journal/11478>;
7. Problems of Information Transmission (<http://link.springer.com/journal/11122>;
8. Solar System Research (<http://link.springer.com/journal/11208> ;
9. Radiophysics and Quantum Electronics  
(<http://www.springer.com/astronomy/journal/11141>

#### **Международные журналы:**

Gravitation and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/12267>;

#### **Иностранные журналы:**

1. Astronomy and Astrophysics (<http://www.aanda.org/>;
2. Astronomy and Astrophysics Review (<http://link.springer.com/journal/159>;
3. Astronomy & Geophysics (<http://astrogeo.oxfordjournals.org/>;
4. Astroparticle Physics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09276505/23/> ; 5.  
Astrophysics (<http://link.springer.com/journal/10511>;
6. Astrophysics and Space Science (<http://link.springer.com/journal/10509>;
7. Classical and Quantum Gravity (<http://iopscience.iop.org/0264-9381/>;
8. Computational Astrophysics and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/40668>;
9. Experimental Astronomy (<http://link.springer.com/journal/10686>;
10. Journal of Astrophysics and Astronomy (<http://link.springer.com/journal/12036>;
11. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (<http://iopscience.iop.org/1475-7516/>;

12. Microgravity Science and Technology (<http://link.springer.com/journal/12217>;
13. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (<http://mnras.oxfordjournals.org>
14. Monthly Notices Letters of the Royal Astronomical Society (<http://mnrasl.oxfordjournals.org/>;
15. Nature (<http://www.nature.com/nature/index.html>;
16. Planetary Science (<http://link.springer.com/journal/13535>;
17. Research in Astronomy and Astrophysics (<http://iopscience.iop.org/1674-4527/>;
18. Space Science Reviews (<http://link.springer.com/journal/11214>;
19. Space Weather  
<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%291542-7390/> ;
20. Solar Physics (<http://link.springer.com/journal/11207>;
21. The Astronomical Journal (<http://iopscience.iop.org/1538-3881>;
22. The Astrophysical Journal (<http://iopscience.iop.org/0004-637X/> ; доступ с 1996 по текущий год).
23. The Astrophysical Journal Letters (<http://iopscience.iop.org/2041-8205/>;
24. The Astrophysical Journal. Supplement series (<http://iopscience.iop.org/0067-0049/>

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Лекционные аудитории (3 аудитории), оборудованы:

- Столы;
- Стулья;
- Доски магнитно – маркерные;
- Экраны для презентаций;
- Мультимедийные проекторы;
- Персональный компьютер;
- Экран для презентаций;

Учебно-научная лаборатория, оборудованная комплексом детекторов космического гамма излучения “КОНУС”, разработанных в ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Учебно-научная лаборатория, оборудованная средствами обработки данных наблюдений космического излучения.

Программу разработал:

г.н.с.- заведующий лабораторией  
астрофизики высоких энергий,  
д-р физ.-мат. наук, Быков А.Н.