

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

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора Института по научной работе

С.В. Лебедев

02 2015



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

основной образовательной программы подготовки
научно-педагогических кадров в аспирантуре
по направлению **03.06.01 Физика и астрономия**

Профиль: 01.03.02 «^{Астрофизика} и звездная астрономия»

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Принято Ученым советом
Протокол №1 от 20 февраля 2015 г.

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ 2015 г.

Шлефман

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов основных образовательных программ высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия, профиль 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Рассматриваемая дисциплина является основной в подготовке аспирантов, обучающихся по профилю 01.03.02 «Астрофизика и звездная астрономия»

Целями изучения дисциплины является:

- Изучение современной кинетической теории вещества в различных физических условиях (от разреженного газа до вырожденных квантовых газов и сильно неидеальных систем частиц, в том числе, в сильных магнитных полях);
- изучение современных методов расчета кинетических свойств материи;
- приобретение опыта использования методов кинетики для моделирования диссипативных процессов в различных физических условиях.

Задачи дисциплины заключаются в изучении:

- фундаментальных понятий, законов и теорий, относящихся к физической кинетике;
- теоретических концепций и моделей, описывающих физику кинетических явлений;
- современных аналитических и численных методов расчета кинетических коэффициентов.

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 ООП

- 2.1. Учебная дисциплина «Физическая кинетика» входит в вариативную часть ООП (дисциплины по выбору).
- 2.2. Данная программа строится на преемственности программ в системе высшего образования и предназначена для аспирантов СПб ПУ, прошедших обучение по программе подготовки магистров, прослушавших соответствующие курсы и имеющих по ним положительные оценки. Она основывается на положениях, отраженных в учебных программах указанных уровней.
- 2.3. Дисциплина «Физическая кинетика» необходима при подготовке выпускной квалификационной работы аспиранта и подготовке к сдаче кандидатского экзамена.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Физическая кинетика» направлен на формирование следующих компетенций в соответствии с ООП по направлению подготовки «Физика и астрономия»:

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).

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).

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).

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ 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 «Физическая кинетика».

Наименование разделов и тем	Трудоёмкость (в ЗЕТ)	Объём работы (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			Лекции	Лаб. / практ.	Самостоятельная работа	Контроль
1	2	3	4	5	6	7
Раздел 1. Уравнение Больцмана						
Тема 1.1. Функция распределения		8	3		5	
Тема 1.2. Теорема Лиувилля		8	3		5	
Тема 1.3. Уравнение Больцмана		8	3		5	
Тема 1.4. Столкновения частиц		8	3		5	
Тема 1.5. H-теорема Больцмана		8	3		5	
Тема 1.6. Интеграл столкновений легких частиц с тяжёлыми		8	3		5	
Раздел 2. Газодинамика и коэффициенты переноса в разреженном газе						
Тема 2.1. Уравнения газодинамики		8	3		5	
Тема 2.2. Линеаризованное уравнение Больцмана для простого газа		8	3		5	
Тема 2.3. Теплопроводность и вязкость простого газа		8	3		5	
Тема 2.4. Газодинамика многокомпонентных смесей		8	3		5	
Раздел 3. Кинетика и теория флуктуаций						
Тема 3.1. Флуктуации термодинамических величин		8	3		5	

Тема 3.2. Принцип Онзагера		8	3		5	
Тема 3.3. Формулы Кубо. Молекулярная динамика		8	3		5	
Раздел 4. Кинетика вырожденного электронного газа						
Тема 4.1. Кинетическое уравнение для вырожденных электронов		8	3		5	
Тема 4.2. Кинетические коэффициенты вырожденных электронов		8	3		5	
Тема 4.3. Приближение времени релаксации для вырожденных электронов		8	3		5	
Тема 4.4. Кинетика неупругих столкновений вырожденных электронов		8	3		5	
Тема 4.5. Кинетика вырожденного электронного газа в магнитном поле		8	3		5	
Всего по дисциплине	4	144	54		90	за- чет

4.2. Содержание разделов и тем

Раздел 1. Уравнение Больцмана

Тема 1.1. Функции распределения.

Лекции (3 часа)

Многочастичные функции распределения. Иерархии функций распределения. Одночастичные состояния и функции распределения. Равновесные одночастичные функции распределения. Полное термодинамическое равновесие. Распределения Максвелла, Ферми—Дирака и Бозе—Эйнштейна. Локальное термодинамическое равновесие.

Тема 1.2. Теорема Лиувилля.

Лекции (3 часа)

Доказательство теоремы Лиувилля. Иерархия функций распределения и цепочка уравнений Боголюбова. Одночастичные, двухчастичные, трехчастичные и прочие функции распределения. Цепочка рекуррентных уравнений для этих функций. Корреляционные функции.

Тема 1.3. Уравнение Больцмана.

Лекции (3 часа)

Разреженный газ. Вывод кинетического уравнения Больцмана. Бесстолкновительное уравнение Больцмана. Кинематика парных упругих столкновений частиц. Интеграл парных упругих столкновений. Дифференциальное сечение рассеяния частиц. Теорема взаимности. Частота столкновений частиц в газе. Стандартная форма интеграла столкновений в разреженном газе. Симметричная форма интеграла столкновений. Принцип детального равновесия. Усиление или блокировка реакций в квантовых газах.

Тема 1.4. Столкновения частиц.

Лекции (3 часа)

Потенциалы взаимодействия нейтральных частиц. Методы расчета сечений рассеяния частиц. Модель твердых упругих шариков. Сечения столкновений заряженных частиц в плазме, кулоновское дальное действие. Слабонеидеальная плазма. Плазменное экранирование кулоновского взаимодействия заряженных частиц поляризацией плазмы. Сечение рассеяния заряженных частиц с учетом экранирования. Скорость изменения физической величины за счет столкновений. Сумматорные инварианты и их свойства.

Тема 1.5. H-теорема Больцмана.

Лекции (3 часа)

Скорость изменения энтропии разреженного газа. Постоянство полной энтропии в бесстолкновительном газе. Скорость производства энтропии за счет столкновений. Доказательство H-теоремы.

Тема 1.6. Интеграл столкновений легких частиц с тяжелыми.

Лекции (3 часа)

Упрощение интеграла столкновений легких частиц с тяжелыми в приближении времени релаксации. Транспортное сечение рассеяния. Время релаксации и эффективная частота столкновений. Аддитивность эффективных частот при нескольких механизмах рассеяния легких частиц с тяжелыми. Времена релаксации в нейтральном газе. Столкновения электронов с ионами в плазме; время релаксации, кулоновский логарифм.

Раздел 2. Газодинамика и коэффициенты переноса в разреженном газе

Тема 2.1. Уравнения газодинамики.

Лекции (3 часа)

Газодинамический режим. Вывод уравнений газодинамики простого газа из уравнения Больцмана. Бездиссипативная газодинамика. Уравнения газодинамики бесстолкновительного простого газа и их общие свойства. Диссипативная газодинамика. Уравнения газодинамики простого газа с учетом диссипации. Диссипативные эффекты – теплопроводность и вязкость.

Тема 2.2. Линеаризованное уравнение Больцмана для простого газа.

Лекции (3 часа)

Линеаризация левой части уравнения Больцмана и интеграла столкновений для простого газа в газодинамическом пределе. Уравнение, описывающее релаксацию простого газа к состоянию равновесия в задаче о теплопроводности. Вывод формулы для скорости производства энтропии при столкновениях частиц в этой задаче. Формулировка вариационного принципа для задачи релаксации простого газа к состоянию термодинамического равновесия. Общие формулы, позволяющие применять вариационный принцип для вычисления кинетических коэффициентов.

Тема 2.3. Теплопроводность и вязкость простого газа.

Лекции (3 часов)

Присоединенные полиномы Лагерра—Сонина и их свойства. Вывод вариационного выражения для теплопроводности простого газа путем разложения вариационной функции по полиномам Лагерра. Система уравнений для коэффициентов разложения. Вычисление теплопроводности простого газа в приближении одного полинома Лагерра. Физический смысл полученного решения; диффузия тепла. Вязкие натяжения и коэффициенты вязкости. Скорость роста энтропии за счет столкновений в задаче о вязкости. Вычисление сдвиговой вязкости простого газа в приближении одного полинома Лагерра. Физический смысл решения; вязкость и диффузия импульса.

Тема 2.4. Газодинамика многокомпонентных смесей.

Лекции (3 часов)

Уравнения диссипативной газодинамики многокомпонентных смесей. Феноменологические соотношения переноса в многокомпонентном газе. Коэффициенты диффузии и термодиффузии. Схема расчета кинетических коэффициентов путем разложения по полиномам Лагерра. Упрощенное решение уравнений диффузии легкого газа, частицы которого сталкиваются с тяжелыми частицами. Коэффициент диффузии и его простые оценки. Коэффициент термодиффузии как перекрестный кинетический коэффициент. Кинетика электронов в плазме, содержащей ионы одного сорта. Коэффициент диффузии, проводимость и подвижность электронов. Коэффициент термодиффузии и удельная термоэдс. Уравнения магнитной гидродинамики; магнитные силы;

анизотропия кинетических коэффициентов в магнитном поле. Кинетика газа с учетом внутренних степеней свободы молекул и химических реакций.

Раздел 3. Кинетика и теория флуктуаций

Тема 3.1. Флуктуации термодинамических величин.

Лекции (3 часов)

Основы теории флуктуаций термодинамических величин в системах с большим числом частиц. Гауссовы флуктуации термодинамических величин в выделенный момент времени. Обобщенные термодинамические координаты и канонически сопряженные величины. Корреляционные функции для флуктуаций одной или нескольких термодинамических величин в термодинамически равновесной системе в разные моменты времени. Связь затухания корреляций с затуханием флуктуаций в слабонеоднородной системе при релаксации к равновесию.

Тема 3.2. Принцип Онзагера.

Лекции (3 часов)

Обобщенные термодинамические координаты и термодинамические потоки; матрицы обобщенных кинетических коэффициентов. Прямые и перекрестные кинетические коэффициенты. Доказательство принципа Онзагера; устойчивость термодинамического равновесия. Пример применения принципа Онзагера для описания диффузии и термодиффузии бинарной смеси.

Тема 3.3. Формулы Кубо. Молекулярная динамика.

Лекции (3 часа)

Формулы Кубо для универсального описания разных кинетических коэффициентов с учетом анизотропии среды, временной и пространственной зависимости вынуждающих воздействий, в том числе для плотной и сильнонеидеальной среды. Расчеты кинетических коэффициентов методами молекулярной динамики.

Раздел 4. Кинетика вырожденного электронного газа

Тема 4.1. Кинетическое уравнение для вырожденных электронов.

Лекции (3 часа)

Кинетическое уравнение и особенности явлений переноса в плотном вырожденном электронном газе. Линеаризованное уравнение. Электрический ток, потоки энергии и тепла. Формальный расчет электро- и теплопроводности, а также удельной термоэдс в вырожденном электронном газе. Соотношения переноса для теоретиков и экспериментаторов. Вывод выражения для скорости производства энтропии при столкновениях вырожденных электронов. Вариационный принцип для вырожденных электронов.

Тема 4.2. Кинетические коэффициенты вырожденных электронов.

Лекции (3 часов)

Общая формула для электропроводности – формула Друде. Общая формула для теплопроводности – обобщенный закон Видемана-Франца. Общая формула для удельной термоэдс – связь с электропроводностью. Качественное описание процессов релаксации в вырожденном электронном газе как диффузии электронов по ферми-поверхности. Отличия релаксации в задачах электро- и теплопроводности.

Тема 4.3. Приближение времени релаксации для вырожденных электронов.

Лекции (3 часа)

Вычисление кинетических коэффициентов в приближении времени релаксации. Прямое кулоновское рассеяние. Рассеяние на заряженных примесях.

Тема 4.4. Кинетика неупругих столкновений вырожденных электронов.

Лекции (3 часа)

Расчет теплопроводности при электрон-электронных столкновениях вариационным методом. Разделение интегрирования по энергиям и направлениям импульсов электронов. Рассеяние электронов на фононах; интеграл столкновений; случаи низких и высоких температур. Общая температурная зависимость кинетических коэффициентов в металлах.

Тема 4.5. Кинетика вырожденного электронного газа в магнитном поле.

Лекции (3 часа)

Кинетическое уравнение для вырожденных электронов в магнитном поле в приближении времени релаксации. Решение уравнения и определение тензоров электропроводности и электросопротивления. Продольные, поперечные и холловские кинетические коэффициенты. Термомагнитные явления в вырожденном электронном газе.

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Технология процесса обучения по дисциплине «Физическая кинетика» включает в себя следующие образовательные мероприятия:

- а) аудиторные занятия (лекционно-семинарская форма обучения);
- б) самостоятельная работа студентов;
- г) контрольные мероприятия в процессе обучения и по его окончании;
- д) зачет по окончании изучения дисциплины.

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

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

Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает 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 «Физическая кинетика» 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.

6.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний аспирантов организован как выступления на семинарах.

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний и развитие практических умений.

6.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация завершает изучение дисциплины «Физическая кинетика». Форма аттестации – зачет в письменной или устной форме.

Экзаменационный билет состоит из 2 теоретических вопросов, тематика которых представлена в программе кандидатского экзамена.

На зачете аспирант должен продемонстрировать высокий научный уровень и научные знания по дисциплине «Физическая кинетика».

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации

1. Функции распределения.
2. Одночастичные состояния и функции распределения.
3. Равновесные одночастичные функции распределения.
4. Теорема Лиувилля.
5. Иерархия функций распределения и цепочка уравнений Боголюбова.
6. Уравнение Больцмана.
7. Кинематика парных упругих столкновений.
8. Интеграл парных упругих столкновений.
9. Свойства интеграла столкновений.
10. Сечения столкновений нейтральных частиц.
11. Сечения столкновений заряженных частиц в плазме.
12. Сумматорные инварианты и их свойства.
13. Скорость изменения энтропии разреженного газа. H-теорема Больцмана.
14. Интеграл столкновений легких частиц с тяжелыми: приближение времени релаксации.
15. Времена релаксации в газе и плазме.
16. Уравнения газодинамики.
17. Бездиссипативная газодинамика.
18. Диссипативная газодинамика.
19. Линеаризованное уравнение Больцмана для простого газа.
20. Теплопроводность. Скорость производства энтропии при переносе тепла.
21. Вариационный принцип (для теплопроводности).
22. Полиномы Лагерра (Сонина).
23. Решение уравнения теплопроводности путем разложения по полиномам Лагерра.
24. Теплопроводность простого газа в приближении одного полинома Лагерра.
25. Вязкость простого разреженного газа. Вязкие натяжения и коэффициенты вязкости. Скорость роста энтропии за счет столкновений.
26. Вычисление вязкости путем разложения по полиномам Лагерра. Сдвиговая вязкость и диффузия импульса.
27. Диссипативная газодинамика многокомпонентных смесей. Феноменологические соотношения переноса в многокомпонентном газе.
28. Основы кинетики газовых смесей. Схема расчета кинетических коэффициентов путем разложения по полиномам Лагерра.
29. Диффузия и термодиффузия легкого газа в тяжелом.
30. Кинетика электронов в разреженной плазме.
31. Магнитная гидродинамика.
32. Кинетика газа с учетом внутренних степеней свободы молекул и химических реакций.

33. Флуктуации термодинамических величин в равновесной системе.
34. Затухание корреляций и релаксация термодинамической величины к равновесию.
35. Затухание корреляций и релаксация нескольких термодинамических величин.
36. Обобщенные кинетические коэффициенты. Принцип Онзагера.
37. Принцип Онзагера для диффузии и термодиффузии в бинарной смеси.
38. Релаксация и флуктуации: формулы Кубо. Молекулярная динамика.
39. Вырожденный электронный газ. Уровень Ферми, поверхность Ферми, закон дисперсии.
40. Кинетическое уравнение для вырожденных электронов.
41. Соотношения переноса для вырожденных электронов. Электро- и теплопроводность, удельная термоэдс.
42. Скорость производства энтропии за счет столкновений вырожденных электронов.
43. Общие свойства кинетических коэффициентов вырожденных электронов. Электропроводность – формула Друде. Теплопроводность – обобщенный закон Видемана-Франца. Удельная термоэдс – связь с электропроводностью.
44. Физика электронного переноса в процессах электро- и теплопроводности.
45. Приближение времени релаксации для вырожденных электронов. Прямое кулоновское рассеяние. Рассеяние на заряженных примесях.
46. Электрон-электронные столкновения вырожденных электронов. Вариационный принцип и скорость производства энтропии.
47. Электрон-электронные столкновения вырожденных электронов. Интегрирование по энергиям и импульсам.
48. Рассеяние электронов на фононах. Интеграл столкновений. Случаи низких и высоких температур. Общая температурная зависимость кинетических коэффициентов в металлах.
49. Кинетика вырожденного электронного газа в магнитном поле.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Основная литература

1. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Физическая кинетика. Москва, Наука, 1979.
2. Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. Кинетическая теория газов и жидкостей. Москва, ИЛ, 1961.
3. Дж. Займан. Электроны и фононы. Москва, ИЛ, 1962.

7.2. Дополнительная литература

1. В.П. Силин. Введение в кинетическую теорию газов. Москва, Издательство ФИАН, 1998.
2. А.Ф. Александров, Л.С. Богданкевич, А.А. Рухадзе. Основы электродинамики плазмы. Москва, Высшая школа, 1978.
3. Б.М. Аскеров. Электронные явления переноса в полупроводниках. Наука, Москва, 1985.

7.3. Интернет-ресурсы

Отечественные журналы:

1. Астрономический вестник (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7665; доступ с 2007 по текущий год)
2. Астрономический журнал (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7666; доступ с 2007 по те-

кущий год)

3. Письма в астрономический журнал (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=79414; доступ с 2007 по текущий год)
4. Геомагнетизм и аэрономия (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7765; доступ с 2007 по текущий год)
5. Исследование Земли из космоса (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7842; доступ с 2007 по текущий год)
6. Космические исследования (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=7859; доступ с 2007 по текущий год)
7. Вестник МГУ. Часть 3. Физика, астрономия (<http://vmu.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; доступ с 1965 по 2012)
9. Земля и Вселенная (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>; доступ с 2000 по текущий год,
2. Astronomy Letters (<http://www.springerlink.com/content/119837/>; доступ с 2000 по текущий год)
3. Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory (<http://link.springer.com/journal/11989>; доступ с 2007 по текущий год)
4. Cosmic Research (<http://link.springer.com/journal/10604>; доступ с 2000 по текущий год)
5. Earth and Space Science (<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%292333-5084/>; доступ с 2014 по текущий год)
6. Geomagnetism and Aeronomy (<http://link.springer.com/journal/11478>; доступ с 2006 по текущий год)
7. Problems of Information Transmission (<http://link.springer.com/journal/11122>; доступ с 2001 по текущий год)
8. Solar System Research (<http://link.springer.com/journal/11208>; доступ с 2000 по текущий год)
9. Radiophysics and Quantum Electronics (<http://www.springer.com/astronomy/journal/11141>; доступ с 1965 по текущий год)

Международные журналы:

Gravitation and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/12267>; доступ с 2008 по текущий год)

Иностранные журналы:

1. Astronomy and Astrophysics (<http://www.aanda.org/>; частичный свободный доступ к отдельным номерам журнала с 2001 по текущий год)
2. Astronomy and Astrophysics Review (<http://link.springer.com/journal/159>; доступ с 1989 по текущий год)
3. Astronomy & Geophysics (<http://astrogeo.oxfordjournals.org/>; доступ с 1997 по текущий год)

год)

4. Astroparticle Physics (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09276505/23/1>; доступ с 2006 по текущий год)
5. Astrophysics (<http://link.springer.com/journal/10511>; доступ с 1965 по текущий год)
6. Astrophysics and Space Science (<http://link.springer.com/journal/10509>; доступ с 1968 по текущий год)
7. Classical and Quantum Gravity (<http://iopscience.iop.org/0264-9381/>; доступ с 1984 по текущий год)
8. Computational Astrophysics and Cosmology (<http://link.springer.com/journal/40668>; доступ с 2014 по текущий год)
9. Experimental Astronomy (<http://link.springer.com/journal/10686>; доступ с 1989 по текущий год)
10. Journal of Astrophysics and Astronomy (<http://link.springer.com/journal/12036>; доступ с 1980 по текущий год)
11. Journal of Cosmology and Astroparticle Physics (<http://iopscience.iop.org/1475-7516/>; доступ с 2003 по текущий год)
12. Microgravity Science and Technology (<http://link.springer.com/journal/12217>; доступ с 2001 по текущий год)
13. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (<http://mnras.oxfordjournals.org/>; доступ с 1827 по текущий год); (<http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1111/%28ISSN%291365-2966>; доступ с 1998 по 2012);
14. Monthly Notices Letters of the Royal Astronomical Society (<http://mnrasl.oxfordjournals.org/>; доступ с 2005 по текущий год)
15. Nature (<http://www.nature.com/nature/index.html>; доступ с 1940 по текущий год)
16. Planetary Science (<http://link.springer.com/journal/13535>; доступ с 2012 по текущий год)
17. Research in Astronomy and Astrophysics (<http://iopscience.iop.org/1674-4527/>; доступ с 2001 по текущий год)
18. Space Science Reviews (<http://link.springer.com/journal/11214>; доступ с 1962 по текущий год)
19. Space Weather (<http://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/agu/journal/10.1002/%28ISSN%291542-7390/>; доступ с 2003 по текущий год)
20. Solar Physics (<http://link.springer.com/journal/11207>; (доступ с 1967 по текущий год)
21. The Astronomical Journal (<http://iopscience.iop.org/1538-3881>; доступ с 1849 по текущий год)
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/>; доступ с 1995 по текущий год)
24. The Astrophysical Journal. Supplement series (<http://iopscience.iop.org/0067-0049/>; доступ с 1996 по текущий год)

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Лекционная аудитория
2. Мультимедийный проектор
3. Персональный компьютер