



МИНПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тульский государственный педагогический  
университет им. Л.Н. Толстого»

---

УТВЕРЖДЕНА  
на заседании Ученого совета  
университета  
протокол № 4 от 31.03.2022 г.

ПРОГРАММА  
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

Научная специальность:

1.3.3. Теоретическая физика

Тула – 2026

## ВВЕДЕНИЕ

Программа вступительного экзамена предназначена для поступающих на обучение по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика. Программа вступительного экзамена включает изучение предмета теоретической физики, ее законов, положений, проблем.

Программа вступительного экзамена по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика содержит основные разделы: механика, электродинамика и оптика, квантовая механика, статистическая физика. В разделе «Механика» рассматриваются основные положения классической и релятивистской механики, в разделе «Электродинамика и оптика» рассматриваются решения стационарных и нестационарных задач, например, решение нестационарных уравнений Максвелла, свойства различных материалов, элементы нелинейной оптики, в разделе «Квантовая механика» большое внимание уделено квантовым свойствам частиц, рассмотрены решения уравнения Шредингера, в разделе «Статистическая физика» рассмотрены статистические закономерности распределения термодинамических параметров.

Для сдачи вступительного экзамена поступающим необходимо продемонстрировать знание основ теоретической физики: законы, положения, проблемы, умение объяснить физические явления, на основе современных представлений о свойствах материи.

Программа вступительного экзамена по научной специальности 1.3.3 Теоретическая физика включает содержание тем, предусмотренных научной специальностью, список обеспеченности учебно-методической, научной литературой, библиотечно-информационными ресурсами для подготовки к вступительному экзамену.

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. Механика

Основные понятия классической механики и законы Ньютона. Законы изменения и сохранения импульса, момента количества движения и энергии материальной точки и системы материальных точек. Уравнения движения твердого тела. Тензор инерции. Общее решение задачи двух тел. Упругое рассеяние частиц. Движение относительно неинерциальной системы отсчета, силы инерции. Принцип относительности Эйнштейна, релятивистская кинематика. Преобразование Лоренца и кинематические следствия из них. Сложение скоростей в СТО. Основные положения релятивистской динамики. Соотношение между массой и энергией. Функция Лагранжа и уравнение Лагранжа в нерелятивистской механике и в СТО. Собственные колебания механической системы. Вынужденные колебания и резонанс. Функция Гамильтона и уравнение Гамильтона. Функция действия и принцип наименьшего действия в нерелятивистской механике и в СТО.

### 2. Электродинамика и оптика

Уравнение Максвелла (в вакууме) как обобщение опытных фактов и их свойства. Закон Ампера и сила Лоренца. Электромагнитные потенциалы, тензор энергии и импульса электромагнитного поля. Калибровочные преобразования. Ковариантность уравнений Максвелла и преобразования потенциалов, токов и полей. Инварианты поля. Плотность

энергии и плотность импульса электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойтинга. Уравнение Пуассона для потенциала, разложение по мультиполям, энергия системы зарядов во внешнем поле. Уравнение для вектор-потенциала для статистической системы и его решение, разложение потенциала по мультиполям (магнитный диполь). Решение нестационарных уравнений Максвелла (в вакууме) с правой частью. Запаздывающие потенциалы, излучение электромагнитных волн. Поляризация волн. Волновая зона. Электрическое дипольное и квадрупольное излучение, магнитное дипольное излучение. Уравнение Максвелла для поля в среде. Материальные уравнения. Электромагнитные потенциалы в кусочно-однородной среде, пондеромоторные силы. Поляризация полярных и неполярных диэлектриков. Сегнетоэлектрики. Магнитостатика, магнитное поле стационарных токов, магнитная восприимчивость диамагнетиков и парамагнетиков. Ферромагнетики. Магнитные свойства сверхпроводников. Квазистационарное приближение. Проникновение переменных полей в проводники. Энергия магнитного поля и токов. Вынужденные электрические колебания. Автоколебания. Электромагнитное поле в среде. Диэлектрическая проницаемость вещества при различных частотах. Излучение Вавилова-Черенкова. Электромагнитные волны в проводящих, диэлектрических и плазменных средах. Элементы электронной теории проводников, полупроводников, диэлектриков и магнетиков в стационарных полях. Термоэлектрические и гальваномагнитные явления. Эффект Холла. Основные законы распространения, отражения и преломления электромагнитных волн в видимом диапазоне. Световое давление. Поляризация света. Особенности распространения света в кристаллах. Естественная ширина линии излучения. Волновое приближение при описании оптических явлений. Интерференция света. Пространственная и временная когерентность. Интерференционные приборы. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Интеграл Кирхгоффа. Дифракция Френеля и Фраунгофера. Понятие о голографии. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Структурный анализ. Приближение геометрической оптики. Элементы теории оптических инструментов. Рассеяние света. Люминесценция. Спонтанное и вынужденное излучение. Усиление света. Лазеры. Элементы нелинейной оптики: основные нелинейные эффекты (детектирование, умножение гармоник, самофокусировка, многофотонное поглощение, параметрические процессы).

### **3. Квантовая механика**

Законы теплового излучения. Корпускулярные свойства излучения. Фотоэффект и эффект Комптона. Порядки величин расстояний и энергий для атомно-молекулярных процессов. Постоянная Планка и ее экспериментальное определение. Уровни энергии и способы возбуждения атомов. опыты Франка и Герца. Квантование по Бору-Зоммерфельду. Магнитные свойства атомов, опыт Штерна и Герлаха. Математический аппарат квантовой механики. Средние значения, дисперсия средней величины. Ортогональность собственных функций и полнота набора. Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции основных квантовомеханических операторов. Корпускулярно-волновой дуализм, дифракция электронов и нейтронов. Волновая функция и ее вероятностная интерпретация. Уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Динамические переменные как операторы (оператор координаты, импульса, момента, энергии). Некоммутирующие операторы и соотношение неопределенностей. Изменение физических величин со временем. Частица с

потенциальной яме. Гармонический осциллятор. Потенциальный барьер, туннельный эффект. Движение в центральном поле, водородоподобные системы. Атом водорода. Стационарная и нестационарная теория возмущений. Полуклассическая теория взаимодействия с излучением. Коэффициенты Эйштейна. Правила отбора. Собственные механический и магнитный моменты электрона. Уравнение Паули. Сложение спинового и орбитального моментов. Тонкая структура атомных спектров. Квантовая механика многих частиц. Принцип неразличимости частиц. Принцип Паули и строение сложных атомов. Вращательные, колебательные и электронные спектры молекул. Рентгеновские спектры. Зонные модели металлов, полупроводников, диэлектриков. Сверхпроводимость и ее квантовая природа.

#### **4. Статистическая физика**

Термодинамические (статистические) системы. Состояние термодинамического равновесия. 1-е, 2-е и 3-е начала термодинамики для квазистатических процессов. Абсолютная температура. Энтропия. Термодинамические потенциалы. 2-е начало термодинамики для неравновесных процессов. Экстремальные свойства термодинамических потенциалов. Условия равновесия и устойчивости. Фазовые переходы. Микроскопическое описание статистической системы. Смешанное состояние. Матрица плотности. Классическая система: фазовое пространство и уравнение Лиувилля. Каноническое распределение Гиббса. Сумма состояний и свободная энергия. Большое каноническое распределение Гиббса. Квазиклассический переход к интегралу состояний. Распределение Максвелла и Больцмана. Неидеальный классический газ с короткодействием. Парная корреляционная функция. Система с кулоновским взаимодействием. Дебаевский радиус экранирования. Свободная энергия плазмы. Идеальные квантовые газы Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Средние числа заполнения (распределения Ферми и Бозе). Теплоемкость при низких температурах. Квантовая теория теплоемкости двухатомного идеального газа. Фотонный газ, равновесное излучение и формула Планка. Фотоны и теория теплоемкости твердого тела (по Дебаю и Эйнштейну). Квазitherмодинамическая теория флуктуации и флуктуации основных термодинамических величин. Случайные процессы. Броуновское движение. Уравнение Фоккера-Планка. Спектральные представления и временные корреляции случайных процессов. Тепловые шумы и формула Найквиста. Кинетические уравнения (общие представления). Понятие об H-теореме Больцмана. Кинетическое уравнение с релаксационным членом и его простейшие применения (явления переноса).

## ВОПРОСЫ К ВСТУПИТЕЛЬНОМУ ИСПЫТАНИЮ

1. Принцип относительности Эйнштейна.
2. Преобразование Лоренца и кинематические следствия из них.
3. Функция Лагранжа и уравнение Лагранжа в нерелятивистской механике и в СТО.
4. Собственные колебания механической системы. Вынужденные колебания и резонанс.
5. Функция Гамильтона и уравнения Гамильтона.
6. Принцип наименьшего действия в нерелятивистской механике и в СТО.
7. Плотность энергии и плотность импульса электромагнитного поля. Вектор Умова-Пойтинга.
8. Уравнение Пуассона для потенциала, разложение по мультиполям, энергия системы зарядов во внешнем поле.
9. Уравнение для вектор-потенциала для статической системы и его решение, разложение потенциала по мультиполям (магнитный диполь).
10. Решение нестационарных уравнений Максвелла (в вакууме) с правой частью. Запаздывающие потенциалы, излучение электромагнитных волн. Поляризация волн. Волновая зона. Электрическое дипольное и квадрупольное излучение, магнитное дипольное излучение.
11. Магнитостатика, магнитное поле стационарных токов, магнитная восприимчивость диамагнетиков и парамагнетиков. Ферромагнетики. Магнитные свойства сверхпроводников.
12. Основные законы распространения, отражения и преломления электромагнитных волн в видимом диапазоне. Световое давление. Поляризация света. Особенности распространения света в кристаллах. Естественная ширина линии излучения.
13. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Структурный анализ.
14. Рассеяние света. Люминесценция. Спонтанное и вынужденное излучение. Усиление света. Лазеры.
15. Магнитные свойства атомов, опыт Штерна и Герлаха.
16. Уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера.
17. Частица в потенциальной яме. Гармонический осциллятор. Потенциальный барьер, туннельный эффект.

18. Правила отбора.

19. Собственные механический и магнитный моменты электрона. Уравнение Паули. Сложение спинового и орбитального моментов. Тонкая структура атомных спектров.

20. Зонные модели металлов, полупроводников, диэлектриков.

21. Идеальные квантовые газы Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Средние числа заполнения (распределения Ферми и Бозе).

Общее количество баллов за вступительное испытание складывается из суммы баллов, полученной на экзамене (максимально - 60 баллов), и баллов за индивидуальные достижения (максимально – 40 баллов).

На экзамене по специальной дисциплине поступающий в аспирантуру должен набрать не менее 40 баллов.

**Критерии оценки ответа на вступительном экзамене в аспирантуру:**

*55-60 баллов.* Поступающий в аспирантуру полно и правильно отвечает на вопросы экзаменационного билета, демонстрирует прочное владение понятийным аппаратом, осмысленное понимание сущности и взаимосвязи рассматриваемых процессов и явлений, глубокое знание актуальных теоретических проблем и программного материала по дисциплине, связанной с научной специальностью. При ответе на вопрос опирается на знание основной и дополнительной литературы, рекомендованной программой, может проанализировать и оценить различные научные позиции по концептуальным проблемам специальности, логично, аргументированно и осознанно высказывая собственную точку зрения. Умеет вести беседу, выстраивать диалог, полемику при отстаивании своей позиции.

*46-54 баллов.* Поступающий в аспирантуру демонстрирует понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, системные знания программного материала по дисциплине, соответствующей научной специальности. Теоретический материал излагается грамотно с привлечением опыта практической деятельности. В то же время при ответе на вопрос экзаменационного билета допускаются незначительные ошибки, неточности, погрешности, ответы на дополнительные вопросы отличаются недостаточной развернутостью. Поступающий умеет вести беседу, выстраивать диалог по актуальным проблемам в рамках научной специальности, при этом не всегда полно и аргументированно поясняет собственную позицию.

*40 - 45 баллов.* Поступающий в аспирантуру показывает общее понимание научных вопросов, демонстрирует поверхностные, неглубокие знания концептуальных проблем в рамках дисциплины, соответствующей научной специальности. Ответ на экзаменационный билет неполный, не содержит грубых ошибок, однако в нем могут встречаться неточности, представляет собой только констатацию теоретических фактов при отсутствии анализа и оценки актуальных проблем науки. Ответы на дополнительные вопросы отличаются фрагментарностью и слабой аргументацией, отсутствием выводов обобщающего характера, в большинстве случаев требуются уточняющие пояснения со стороны преподавателя. Поступающий редко использует терминологию, испытывает затруднения в процессе диалога по актуальным проблемам науки в рамках научной специальности.

*0 – 39 баллов.* Поступающий в аспирантуру демонстрирует недостаточные знания программного материала, непонимание концептуальных научных вопросов в рамках дисциплины, соответствующей научной специальности. Ответ на экзаменационный билет

обнаруживает пробелы в знаниях, содержит грубые ошибки, неточности, отсутствует терминология, анализ, оценка актуальных проблем науки, рассматриваемых процессов и явлений. При ответе не используются аргументы, подтверждающие собственную точку зрения. Поступающий неправильно отвечает на поставленный вопрос, в том числе дополнительный, или затрудняется с ответом, не опирается на прочитанную литературу, не поддерживает диалог по значимым проблемам науки в рамках научной специальности.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Часть 1 (Теоретическая физика, том V), 5-е изд. М.: Физматлит, 2005. 616 с.
2. Светлицкий В.А. Статистическая механика и теория надежности. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 504 с.
3. Кубо Р. Статистическая механика. М.: КомКнига, 2007. 450 с.
4. Киттель Ч. Элементарная статистическая физика. М.: Книга по требованию. 2012. 369 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. (Теоретическая физика, том VIII), 4-е изд. М.: Физматлит, 2003. 656 с.
6. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т. 1. Введение в атомную физику. Учебник. 8-е изд. СПб: Лань, 2010. 560 с.
7. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т. 2. Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома. Учебник. 6-е изд., СПб: Лань, 2010. 448 с.
8. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики. 7-е изд. СПб: Лань, 2004. 672 с.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика (Теоретическая физика, том I), 5-е изд. М.: Физматлит, 2004. 224 с.
10. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред (Теоретическая физика, том VIII). М.: Физматлит, 2005. 656 с.

### Дополнительная литература

1. Василевский А.С. Термодинамика и статистическая физика: Учеб. пособ. для студ. пед. и техн. вузов, 2-е изд. М.: Дрофа, 2008. 240 с.
2. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики: учебное пос. СПб: Лань, 2010. 424 с.
3. Румер Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика: учеб. пос. для студ. физических спец. вузов. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2001. 608 с.
4. Серова С.Г. Сборник задач по термодинамике: Учеб. пос. для студ. физ.-мат. пед. инст-тов. М.: Просвещение, 1976. 160с.
5. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы: учебник. М.: Физматлит, 2001. 190 с.
6. Коняева А.Г. Методические указания по статистической физике и термодинамике для студентов физического факультета: учеб.-метод. пос. Тула: ТГПИ. 1983. 15 с.
7. Базаров И.П. Термодинамика: учебник М.: Высшая школа, 1991. 375 с.
8. Киттель, Ч. Статистическая термодинамика: учеб. пос. М.: Наука, 1977. 336 с.
9. Лавенда Б. Статическая физика. Вероятностный подход. М.: Мир, 1999. 432 с.
10. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика М.: Наука, 1982. 608 с.
11. Кондратьев А.С. Задачи по статистической физике: Учеб. пос. для вузов М.: Наука, 1992. 152 с.

12. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. М.: Наука, 1983. 416 с.
13. Радушкевич Л.В. Курс термодинамики: учебник М.: Просвещение, 1971. 288 с.
14. Терлецкий Я.П. Статистическая физика: учеб. пос. М.: Высшая школа, 1994. 360 с.
15. Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н. Классическая электродинамика. СПб: Лань, 2007. 400 с.
16. Власов А.А. Макроскопическая электродинамика. М.: Физматлит, 2005. 240 с.
17. Алексеев А.И. Сборник задач по классической электродинамике. СПб: Лань, 2008. 320 с.
18. Батыгин В.В., Топтыгин И.Н. Сборник задач по электродинамике и специальной теории относительности. СПб.: Лань, 2009. 512 с.
19. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики. Классическая электродинамика. М.: Просвещение, 1980. 272 с.
20. Пеннер Д.И., Угаров В.А. Электродинамика и СТО, М.: Просвещение, 1980. 271 с.
21. Угаров В.А. Специальная теория относительности, М.: Наука, 1977. 384 с.
22. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 1. Современная наука о природе. Законы механики. М.: Мир, 1965. 260 с.
23. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. М.: Мир, Фейнмановские лекции по физике, т. 2. Пространство, время, движение. М.: Мир, 1965. 164 с.
24. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 3. Излучение, волны, кванты. М.: Мир, 1965. 234 с.
25. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 4. Кинетика, теплота, звук. М.: Мир, 1965. 257 с.
26. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 5. Электричество и магнетизм. М.: Мир, 1965. 291 с.
27. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 6. Электродинамика. М.: Мир, 1965. 339 с.
28. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 7. Физика сплошных сред. М.: Мир, 1965. 286 с.
29. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 8. Квантовая механика. I. М.: Мир, 1965. 267 с.
30. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 9. Квантовая механика. II. М.: Мир, 1965. 254 с.
31. Фейнман Р., Леймон Р., Сендс М. Фейнмановские лекции по физике, т. 10. Задачи и упражнения с ответами и решениями. М.: Мир, 1965. 621 с.
32. Берклеевский курс физики. Т. 1. Киттель Ч., Найт В., Рудерман М. Механика. 3-е изд. М.: Наука, 1983. 481 с.
33. Берклеевский курс физики. Т. 2. Парселл Э. Электричество и магнетизм. 3-е изд. М.: Наука, 1983. 444 с.
34. Берклеевский курс физики. Т. 3. Крауфорд Ф. Волны. 3-е изд. М.: Наука, 1984. 484 с.
35. Берклеевский курс физики. Т. 4. Вихманн Э. Квантовая физика. 3-е изд. М.: Наука, 1986. 390 с.
36. Берклеевский курс физики. Т. 5. Рейф Ф. Статистическая физика. 2-е изд. М.: Наука, 1977. 352 с.
37. Берклеевский курс физики. Том 6. Портис А. Физическая лаборатория. М.: Наука, 1972. 320 с.

### **Учебники и учебные пособия**

1. Савельев И.В. Основы теоретической физики: учебник. СПб: Лань, 2009. 928 с.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5 кн.: Учеб. пос. для студ. вузов. Кн. 3: Молекулярная физика и термодинамика/ М: Астрель. 2001. 208 с.
3. Бобылев Ю.В., Панин В.А., Романов Р.В., Электричество и магнетизм: курс лекций. Электростатика. Тула, Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2001, 124 с.
4. Бобылев Ю.В., Панин В.А., Романов Р.В., Курс общей физики. Электродинамика: краткий курс лекций. Тула, Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2007, 107 с.
5. Грибков А.И., Романов Р.В. Электричество и магнетизм: Сборник задач. Тула, Изд-во Тул. гос. пед. Ун-та им. Л.Н. Толстого, 2004, 64 с.
6. Головнев Ю.Ф., Мельник О.А., Краткий курс лекций по статистической термодинамике, Тула, Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им.Л.Н. Толстого, 2010, 118 с.
7. Головнев Ю.Ф., Лаковцев А.Б. Оптика ферромагнитных наносистем. Тула, Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им.Л.Н. Толстого, 2012, 272 с.
8. Головнев Ю.Ф., Наноразмерные ферромагнитные гетеросистемы. Тула, Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2007, 262 с.

### **Программное обеспечение и Интернет-ресурсы**

1. Национальная электронная библиотека, URL: <https://rusneb.ru>.
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, URL: <https://elibrary.ru>.