

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан физического факультета
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

Молекулярная физика

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2023

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
О.Н. Чайковская

Председатель УМК
О.М. Сюсина

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 – Способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;
- ПК-1 – Способность проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1. – Знает основные законы, модели и методы исследования физических процессов и явлений;

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

2. Задачи освоения дисциплины

- Освоить понятийный аппарат и определения, изложенные в курсе Молекулярная физика.
- Владеть основными методами изучения термодинамических систем.
- Уметь применять полученные знания для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 2, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для изучения и понимания материала данной дисциплины обучающийся должен владеть основными понятиями и методами курса физики общеобразовательной школы.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 з.е., 288 часов, из которых:

- лекции: 64 ч.;
- практические занятия: 80 ч.;
- в том числе практическая подготовка: 64 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Тема 1.

Основные положения молекулярно-кинетической теории

Основные положения молекулярно-кинетической теории. Размеры и масса молекул.

Кривые потенциальной энергии взаимодействия молекул.

Динамический и статистический метод. Термодинамическая система, термодинамические параметры.

Тема 2.

Идеальный газ. Уравнение Клапейрона–Менделеева. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.

Идеальный газ. Уравнение Клапейрона–Менделеева. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Число ударов молекул о стенку. Давление газа на стенку. Закон Дальтона. Скорости теплового движения газовых молекул. Опыт Штерна. Температура. Температурные шкалы.

Внутренняя энергия идеального газа. Число степеней свободы молекулы. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Средняя кинетическая энергия теплового движения молекулы.

Тема 3.

Основные положения теории вероятностей. Физическая статистика.

Основные положения теории вероятностей. Вероятность, дискретное и непрерывное распределение вероятностей. Частотное определение вероятности. Функция распределения (плотность вероятности). Нормальное распределение.

Тема 4.

Классическая статистика Максвелла–Больцмана.

Физическая статистика. Фазовое пространство. Принцип неопределенностей Гейзенберга. Вероятность распределения. Наиболее вероятное распределение. Формула Стирлинга для факториала. Метод неопределенных множителей Лагранжа. Классическая статистика Максвелла–Больцмана. Распределения по энергиям, скоростям, импульсам. Распределение Максвелла по компонентам скоростей молекул, по модулю скоростей, по энергиям, по импульсу. Приведенное распределение Максвелла по скоростям, по энергиям. Скорости газовых молекул: наиболее вероятная, средняя, среднеквадратичная. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Опыт Перрена по определению числа Авогадро.

Тема 5.

Квантовые статистики Бозе–Эйнштейна и Ферми–Дирака.

Квантовые статистики Бозе–Эйнштейна и Ферми–Дирака. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Волны де-Бройля. Условие применимости классической статистики. Квантовая статистика. Фермионы и бозоны. Распределение Ферми–Дирака, Бозе–Эйнштейна. Бозе–эйнштейновская конденсация

Тема 6.

Основные положения термодинамики. Первое начало термодинамики.

Основные положения термодинамики. Нулевое начало термодинамики. Первое начало термодинамики.

Тема 7.

Внутренняя энергия. Теплоемкость идеального и реального газов.

Внутренняя энергия. Теплоемкость (истинная, удельная, молярная). Работа, совершаемая системой при изменении объема. Разность теплоемкостей ($C_p - C_v$) для любого вещества. Разность теплоемкостей ($C_p - C_v$) для идеального газа (формула Майера). Применение первого начала к описанию изопроцессов в газах. Политропический процесс. Теплоемкость, работа при политропическом процессе. Скорость звука в газе, формулы Ньютона и Лапласа. Теплоемкость идеального многоатомного газа. Ее зависимость от температуры. Понятие о квантовой теории теплоемкости идеального газа. «Вымерзание» степеней свободы. Теплоемкость идеального и реального газов. Уравнение Бернулли для течения сжимаемой жидкости

Тема 8.

Принцип действия тепловых машин. Цикл Карно

Принцип действия тепловых машин. Цикл Карно в координатах PV и TS . Холодильная машина, холодильный коэффициент. Второе начало термодинамики. Теорема Карно.

Тема 9.

Второе начало термодинамики. Энтропия

Неравенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Энтропия идеального газа. Примеры изменения энтропии. Принцип Ле Шателье-Брауна.

Статистическая трактовка второго начала термодинамики. Термодинамическая вероятность (статистический вес). Формула Больцмана. Флуктуации. Среднеквадратичная флуктуация. Демон Максвелла.

Тема 10.

Третье начало термодинамики.

Третье начало термодинамики. Следствия из него. Теорема Нернста

Тема 11.

Основы физической кинетики. Явления переноса: теплопроводность, диффузия, вязкость.

Основы физической кинетики. Длина свободного пробега молекул. Среднее число соударений молекул в единицу времени. Явления переноса: теплопроводность, диффузия, вязкость. Ультра разреженные газы: сопротивление движению, теплопередача.

Тема 12.

Реальные газы.

Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Поправки на давление и объем. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса, энтропия газа Ван-дер-Ваальса и уравнение адиабаты. Эффект Джоуля – Томсона (дифференциальный и интегральный). Изотермы реального газа: теоретические и экспериментальные. Критическое состояние, критические параметры, критический коэффициент. Двухфазное состояние вещества. Сжижение газов. Пересыщенный пар и перегретая жидкость.

Тема 13.

Фазовые переходы

Фазовые переходы первого рода. Испарение и конденсация. Равновесие жидкости и насыщенного пара. Правило рычага. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Диаграмма состояний. Тройная точка. Переохлажденная жидкость.

Тема 14.

Строение жидкостей. Аморфное тело

Жидкости. Строение жидкостей. Аморфное тело. Стеклообразное состояние вещества. Поверхностное натяжение. Свободная энергия. Коэффициент поверхностного натяжения. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Минимальная поверхность. Явления на границе жидкости и твердого тела. Смачивание и несмачивание. Краевой угол. Капиллярные явления. Испарение жидкостей. Кипение жидкостей. Давление насыщенного пара.

Тема 15.

Теплоемкость кристаллических тел.

Теплоемкость кристаллических тел. Классическая теория, закон Дюлонга и Пти. Внутренняя энергия и теплоемкость. Теплоемкость при низкой температуре. Квантовая теория теплоемкостей по Эйнштейну. Температура Эйнштейна. Недостаточность теории Эйнштейна. Фононы. Теория Дебая теплоемкости твердых тел. Температура Дебая. Свободные электроны в металлах. Энергия Ферми. Теплоемкость при низкой температуре. Теплоемкость при произвольной температуре. Теплоемкость металлов: решеточная и электронная.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, контроля выполнения практических занятий, контрольных заданий и тестов, коллоквиумов по материалам дисциплины, выполняемых самостоятельно.

Текущий контроль фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен во втором семестре проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два вопроса. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

К экзамену допускаются только те студенты, кто удовлетворительно выполнили все практические задания.

Первые вопросы билетов проверяют формирование ОПК-1 в соответствии с индикатором ИОПК-1.1. Ответы даются в развернутой форме.

Вторые вопросы билетов проверяют формирование ПК-1 в соответствии с индикатором ИПК-1.1. Ответы даются в развернутой форме.

Примерный перечень теоретических вопросов.

1. Молекулярно-кинетические представления о веществе. Агрегатные состояния вещества. Массы атомов и молекул. Методы изучения систем многих частиц.
2. Идеальный газ. Уравнение состояния идеального газа. Основное уравнение МКТ. Температура. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
3. Основные понятия теории вероятностей. Теоремы сложения и умножения вероятностей. Среднее значение физической величины. Дисперсия функции распределения вероятности. Непрерывное изменение случайных величин.
4. Характер теплового движения. Макро и микро состояние системы. Фазовое пространство. Микроканонический ансамбль. Расчет числа пространственных микросостояний. Постулат равновероятности. Эргодическая теорема.
5. Распределение Максвелла и его анализ. Характерные скорости. Частота ударов молекул о стенку. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.
6. Распределение Больцмана. Распределение концентрации частиц. Распределение молекул в поле сил тяжести. Барометрическая формула. Атмосферы планет.
7. Классическая статистика. Распределение Максвелла-Больцмана. Распределение Гиббса.
8. Квантовые статистические закономерности. Статистика Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Предельный переход к классической статистике.
9. Работа при расширении и сжатии газа. Внутренняя энергия. Теплота. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Теплоемкость газов и число степеней свободы. Расхождение классической теории теплоемкости с экспериментом. Зависимость теплоемкости от T .
10. Процессы в идеальных газах. Изохорический, изобарический, изотермический, адиабатический процессы. Политропный процесс. Циклы. Цикл Карно. Термодинамическое определение температуры. Теорема Карно.
11. Обратимые и необратимые процессы. Неравенство Клаузиуса Второй закон термодинамики. Различные формулировки 2 начала термодинамики. Термодинамическая шкала температур.
12. Энтропия. Энтропия и вероятность. Теорема Нернста.
13. Расчет изменения энтропии в некоторых необратимых процессах.
14. Термодинамические функции. Критерии устойчивости ТД системы Соотношение Максвелла. Принцип Ле-Шателье-Брауна.
15. Межмолекулярные силы взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Изотермы В-д-В.
16. Изотермы реального газа. Двухфазные состояния реального газа. Правило рычага. Метастабильные состояния.
17. Критическое состояние вещества. Критическая опалесценция.
18. Поведение двухкомпонентных систем при изменении T при постоянном объеме.
19. Внутренняя энергия газа ВДВ.

20. Эффект Джоуля-Томсона. Учет взаимодействия молекул.
21. Сжижение газов. Свойства вещества вблизи абсолютного нуля.
22. Общая характеристика жидкостей. Поверхностное натяжение. Поверхностно-активные вещества. Условия на границе раздела двух жидкостей и на границе раздела жидкость-твердое тело.
23. Давление под искривленной поверхностью. Формула Лапласа.
24. Капиллярные явления.
25. Фазы и фазовые превращения. Примеры фазовых превращений. Условия равновесия фаз химически однородного вещества. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Фазовая диаграмма системы пар-жидкость.
26. Насыщенный пар. Давление насыщенного пара над изогнутой поверхностью.
27. Кипение жидкости. Перегретая жидкость. Метастабильные состояния.
28. Пузырьковая камера и камера Вильсона.
29. Тройные точки. Диаграммы состояний.
30. Фазовые превращения второго рода. Поведение вторых производных удельного потенциала Гиббса при ф.п. 2 рода. Четыре соотношения Эренфеста.
31. Явления переноса. Поперечное сечение процесса, средняя длина свободного пробега, частота столкновений. Модель твердых сфер. Общая характеристика явлений переноса.
32. Теплопроводность. Внутреннее трение (вязкость). Диффузия.
33. Физические явления в разреженных газах. Эффузия газов. Тепловая эффузия. Эффект Кнудсена.
34. Уравнение переноса зависящее от времени.
35. Явления переноса в твердых телах и жидкостях
36. Твердые тела. Общая характеристика твердых тел. Типы межмолекулярного взаимодействия в твердых телах. Геометрия кристаллической решетки. Решетка Браве. Симметрия решетки, виды симметрии.
37. Кристаллические классы. Симметрия сложных решеток. Кристаллографические системы координат. Решетки химических элементов и соединений.
38. Дефекты в кристаллах.
39. Классическая теория теплоемкости твердых тел. Поведение теплоемкости при низких температурах.
40. Квантовая теория теплоемкости Эйнштейна. Элементарные возбуждения. Недостатки теории Эйнштейна.
41. Теория Дебая. Связанные колебания и их распространение в твердом теле. Подсчет числа мод. Вычисление теплоемкости по теории Дебая. Анализ случая низких и высоких температур. Фононы. Вычисление теплоемкости твердых тел с использованием квантового распределения для фононов. Теплоемкость металлов.
42. Диффузия. Механизм диффузии. Законы Фика. Тепловое расширение. Плавление твердых тел. Фазовая диаграмма системы жидкость - твердое тело.
43. Кристаллизация. Сублимация.
44. Фазовые переходы первого и второго рода. Диаграммы состояния.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=3735>

б) **Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).**

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен.

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Размеры и масса молекул. Кривые потенциальной энергии взаимодействия молекул.

2. Динамический и статистический метод. Термодинамическая система, термодинамические параметры.
3. Идеальный газ. Уравнение Клапейрона–Менделеева. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Число ударов молекул о стенку.
4. Давление газа на стенку. Закон Дальтона.
5. Скорости теплового движения газовых молекул. Опыт Штерна. Температура. Температурные шкалы.
6. Внутренняя энергия идеального газа. Число степеней свободы молекулы. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Средняя кинетическая энергия теплового движения молекулы.
7. Основные положения теории вероятностей. Вероятность, дискретное и непрерывное распределение вероятностей. Частотное определение вероятности. Функция распределения (плотность вероятности). Нормальное распределение.
8. Физическая статистика. Фазовое пространство. Принцип неопределенностей Гейзенберга. Вероятность распределения. Наиболее вероятное распределение.
9. Метод неопределенных множителей Лагранжа. Классическая статистика Максвелла–Больцмана.
10. Распределения по энергиям, скоростям, импульсам. Распределение Максвелла по компонентам скоростей молекул, по модулю скоростей, по энергиям, по импульсу.
11. Приведенное распределение Максвелла по скоростям, по энергиям. Скорости газовых молекул: наивероятнейшая, средняя, среднеквадратичная.
12. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Опыт Перрена по определению числа Авогадро.
13. Применимость классической статистики. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Волны де-Бройля. Условие применимости классической статистики.
14. Квантовая статистика. Фермионы и бозоны. Распределение Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна. Бозе-эйнштейновская конденсация.
15. Основные положения термодинамики. Нулевое начало термодинамики. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия. Теплоемкость (истинная, удельная, молярная).
16. Работа, совершаемая системой при изменении объема. Разность теплоемкостей ($C_p - C_v$) для любого вещества. Разность теплоемкостей ($C_p - C_v$) для идеального газа (формула Майера).
17. Применение первого начала к описанию изопроцессов в газах. Политропический процесс. Теплоемкость, работа при политропическом процессе.
18. Скорость звука в газе, формулы Ньютона и Лапласа. Теплоемкость идеального многоатомного газа. Ее зависимость от температуры.
19. Понятие о квантовой теории теплоемкости идеального газа. «Вымерзание» степеней свободы. Теплоемкость идеального и реального газов.
20. Уравнение Бернулли для течения сжимаемой жидкости.
21. Принцип действия тепловых машин. Цикл Карно в координатах PV и TS .
22. Холодильная машина, холодильный коэффициент. Технические циклы.
23. Второе начало термодинамики. Теорема Карно. Неравенство Клаузиуса.
24. Энтропия. Закон возрастания энтропии. Энтропия идеального газа. Примеры изменения энтропии. Принцип Ле Шателье.
25. Статистическая трактовка второго начала термодинамики. Термодинамическая вероятность (статистический вес). Формула Больцмана.
26. Флуктуации. Среднеквадратичная флуктуация. Демон Максвелла.
27. Третье начало термодинамики. Следствия из него.
28. Основы физической кинетики. Длина свободного пробега молекул. Среднее

- число соударений молекул в единицу времени.
29. Явления переноса: теплопроводность, диффузия, вязкость. Ультра разреженные газы: сопротивление движению, теплопередача.
 30. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Поправки на давление и объем. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса, энтропия газа Ван-дер-Ваальса и уравнение адиабаты.
 31. Эффект Джоуля – Томсона (дифференциальный и интегральный).
 32. Изотермы реального газа: теоретические и экспериментальные. Критическое состояние, критические параметры, критический коэффициент.
 33. Двухфазное состояние вещества. Сжижение газов. Пересыщенный пар и перегретая жидкость.
 34. Фазовые переходы первого рода. Испарение и конденсация. Равновесие жидкости и насыщенного пара. Правило рычага. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса.
 35. Диаграмма состояний. Тройная точка. Переохлажденная жидкость.
 36. Жидкости. Строение жидкостей. Аморфное тело. Стеклообразное состояние вещества. Поверхностное натяжение. Свободная энергия. Коэффициент поверхностного натяжения.
 37. Давление под искривленной поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Минимальная поверхность.
 38. Явления на границе жидкости и твердого тела. Смачивание и несмачивание. Краевой угол. Капиллярные явления.
 39. Испарение жидкостей. Кипение жидкостей. Давление насыщенного пара.
 40. Теплоемкость кристаллических тел. Классическая теория, закон Дюлонга и Пти. Внутренняя энергия и теплоемкость. Теплоемкость при низкой температуре.
 41. Квантовая теория теплоемкостей по Эйнштейну. Температура Эйнштейна.
 42. Недостаточность теории Эйнштейна. Фононы. Теория Дебая теплоемкости твердых тел. Температура Дебая.
 43. Свободные электроны в металлах. Энергия Ферми. Теплоемкость при низкой температуре.
 44. Теплоемкость при произвольной температуре. Теплоемкость металлов: решеточная и электронная.

в) Перечень рекомендуемых семинаров и практических занятий:

1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Размеры и масса молекул. Плотность молекул. Кривые потенциальной энергии взаимодействия молекул.
2. Идеальный газ. Уравнение Клапейрона-Менделеева.
3. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Число ударов молекул о стенку.
4. Внутренняя энергия идеального газа. Число степеней свободы молекулы. Средняя кинетическая энергия теплового движения молекулы.
5. Распределение Максвелла.
6. Распределение Максвелла.
7. Распределение Больцмана.
8. Распределение Больцмана.
9. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Работа идеального газа при различных процессах.

10. Первое начало термодинамики. Теплоемкость. Работа идеального газа при различных процессах.
11. Второе начало термодинамики. Циклы.
12. Энтропия.
13. Явления переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость.
14. Реальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
15. Уравнение Клапейрона - Клаузиуса. Диаграмма состояний. Тройная точка.

Самостоятельная работа студента включает:

- углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;
- подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

- Явления на границе жидкости и твердого тела. Смачивание и несмачивание. Краевой угол. Капиллярные явления.
- Демон Максвелла.

Литература к темам для самостоятельного изучения

1. Сивухин Д. В., Общий курс физики. В 5-ти томах. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика, Издательство: Физматлит, 2014 г, ISBN: 978-5-9221-1514-8, Страниц: 544
2. Курс физики. В 3 томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика. Учебное пособие И. В. Савельев Издательство: «Лань» 2016 г. ISBN: 978-5-8114-0685-2, 978-5-8114-0648-5

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

Перечень основной и дополнительной учебной литературы.

а) основная литература:

1. Курс физики. В 3 томах. Том 1. Механика. Молекулярная физика. Учебное пособие И. В. Савельев Издательство: «Лань» 2016 г. ISBN: 978-5-8114-0685-2, 978-5-8114-0648-5
2. Сивухин Д. В., Общий курс физики. В 5-ти томах. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика, Издательство: Физматлит, 2014 г, ISBN: 978-5-9221-1514-8, Страниц: 544
3. Иродов, И.Е., Задачи по общей физике. – СПб: Издательство:Лань, 2016. – 416 с. ISBN: 978-5-8114-0319-6

б) дополнительная литература:

1. Иродов И.Е., Основные законы физики макросистем, М., 2001;
2. Матвеев А.Н., Молекулярная физика.; Учеб. пособие для вузов.-М.: ISBN: 978-5-8114-1007-1. 2010, 368 с.
3. Фейнман, Лейтон, Сэндс, Фейнмановские лекции по физике, изд.3-е, М, Мир, 1976-78
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Лебедев А.К., Справочник по физике, изд. 8-е, 2006,
5. Корн Г., Корн Т, Справочник по математике, 1968 и позже.

в) ресурсы сети Интернет:

1. https://mf.bmstu.ru/info/faculty/kf/caf/k6/lit/docs/uchebnik/Trofimova_Kurs_fiziki.pdf
2. <https://old.mephi.ru/students/vl/physics/index.php>

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Демкин Владимир Петрович, профессор, доктор физико-математических наук, физический факультет Томского государственного университета, зав. кафедрой общей и экспериментальной физики