

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

Физический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Декан физического факультета

С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

**Физика твердого тела**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная физика»**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

Год приема

**2021**

Код дисциплины в учебном плане Б1.В.ДВ.01.07.05

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюзина

Томск – 2021

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий;

ОПК-2. Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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

ИОПК 2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить фундаментальные представления о взаимосвязи между типом межатомного взаимодействия и структурой твердых тел

– Научиться применять аппарат описания физических и механических свойств твердых тел для решения практических и теоретических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, входит в модуль по выбору "Физика металлов".

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

Семестр 5, экзамен.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Наличие у студента компетенций, сформированных при освоении дисциплин: Атомная физика, Кристаллография, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 16 ч.;

– практические занятия: 16 ч.;

– в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Силы связи и кристаллическая структура идеальных кристаллов.

Основы классификации твердых тел по типу сил связи. Механизм возникновения ковалентного, ионного и Ван-дер-Ваальсовского взаимодействия в молекулах. Силы связи в кристаллах, металлическое взаимодействие. Механизм возникновения металлического взаимодействия в кристаллах. Структура кристаллов с различным типом взаимодействия. Коэффициенты упаковки и междуузлия в кристаллах. Энергия взаимодействия двух частиц при ионном и Ван-дер-ваальсовском взаимодействии. Энергия сил связи кристаллов при различных типах взаимодействия.

Тема 2. Упругие свойства твердых тел.

Физические величины, описываемые тензорами различного ранга. Скаляры, векторы и тензоры 2-го ранга. Преобразования компонент тензора. Характеристическая поверхность 2-го порядка. Свойства характеристической поверхности. Величина, характеризующая свойство в данном направлении. Главные оси и главные значения тензора 2-го ранга. Описание напряженного состояния в точке твердого тела. Тензор напряжения и его симметрия. Преобразования компонент тензора напряжений при преобразовании системы координат. Окружность Мора. Частные формы тензора напряжений. Описание деформированного состояния в точке твердого тела. Закон Гука для изотропного и анизотропного твердого тела. Симметрия тензоров упругости. Влияние симметрии кристалла на число независимых компонент тензоров упругости кристаллов различных сингоний. Тензор упруго-изотропного твердого тела. Физический смысл констант упругости кристаллов кубической сингонии. Экспериментальное определение констант упругости кубических кристаллов. Связь констант упругости общей теории с техническими характеристиками упругости. Зависимость модуля Юнга от направления. Модуль сдвига в различных системах скольжения.

Тема 3. Колебания атомов кристаллической решетки.

Одномерные колебания однородной струны. Упругие волны в кубических монокристаллах. Колебания одноатомной линейной цепочки. Колебания одномерной решетки с базисом. Закон дисперсии для одномерной решетки с двумя атомами на ячейку. Смещения атомов в акустической и оптической ветвях колебаний. Колебания атомов трехмерного кристалла. Квантовая теория гармонического кристалла. Фононы. Тепловое возбуждение фононов.

Тема 4. Тепловые свойства твердых тел.

Закон Дюлонга и Пти. Теплоемкость в квантовой теории твердого тела. Теплоемкость решетки при высоких и низких температурах. Модели Эйнштейна и Дебая. Теплоемкость в модели Дебая. Вклад свободных электронов в теплоемкость металлов. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность твердых тел.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится с применением балльно-рейтинговой системы, в которую входит оценка посещаемости и результатов работы на семинарских занятиях. Оценка формируется в форме баллов (нарастающим итогом): посещаемость – максимально 20 баллов, результаты работы на семинарских занятиях – максимально 40 баллов. Контрольная точка проводится не менее одного раза в семестр.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

Экзамен в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность экзамена – 1,5 часа.

Итоговая оценка по дисциплине складывается из суммы баллов, полученных по итогам текущего контроля и промежуточной аттестации.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Экзаменационная оценка определяется исходя из результатов экзамена и текущей аттестации в течение семестра и согласуется с принятым соответствием с 5-ти балльной шкалой оценивания: 100-86 – «отлично»; 85-66 – «хорошо»; 65-50 – «удовлетворительно», менее 50 – «неудовлетворительно».

Экзаменационный билет включает 2 вопроса из списка вопросов по курсу (приведен в разделе 11), относящихся к различным разделам дисциплины, проверяющих сформированность компетенции ПК-1 в соответствии с индикатором ИПК-1.1 и компетенции ОПК-2 в соответствии с индикатором ИОПК 2.2. Ответы даются в устной форме с использованием подготовленных на экзамене письменных материалов.

Для оценки уровня усвоения всей программы задаются дополнительные и/или уточняющие вопросы по всем разделам курса. Ответ должен содержать определение терминов, используемых в курсе, или запись основных законов и равенств.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22042>

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

Список вопросов, выносимых на экзамен.

1. Классификация твердых тел по типу связей.
2. Механизм возникновения различных типов взаимодействия.
3. Связь кристаллической структуры идеальных кристаллов с типом взаимодействия.
4. Модели расчета энергии кристаллов с различным типом взаимодействия.
5. Коэффициент упаковки и междоузлия в кристаллах.
6. Тензорное описание физических свойств кристаллов.
7. Геометрическая интерпретация симметричного тензора 2-го ранга.
8. Главные оси и главные значения симметричного тензора 2-го ранга.
9. Тензорное описание деформации и напряженного состояния в точке твердого тела.
10. Закон Гука для изотропных и анизотропных твердых тел.
11. Собственная симметрия тензоров упругости.
12. Закон Гука в матричных обозначениях.
13. Влияние симметрии кристалла на число независимых компонент тензоров упругости.
14. Связь между компонентами тензоров податливости и жесткости.
15. Физический смысл компонент тензоров податливости.
16. Технические характеристики упругости и их связь с константами общей теории упругости.
17. Методология теоретического исследования зависимости модуля Юнга от направления.
18. Одномерные колебания однородной струны.
19. Упругие волны в монокристаллах кубической сингонии.
20. Связь скорости распространения упругой волны с константами упругости.
21. Колебания одномерной цепочки с 1-м атомом на ячейку.
22. Граничные условия для одномерной цепочки с 1-м атомом на ячейку.
23. Колебания одномерной решетки с 2-мя атомами на ячейку.
24. Смещения атомов в акустической и оптической ветвях колебаний.
25. Колебания атомов трехмерного кристалла.
26. Квантовая теория гармонического кристалла. Фононы.
27. Тепловое возбуждение фононов.
28. Закон Дюлонга и Пти.
29. Теплоемкость в квантовой теории твердого тела.
30. Теплоемкость решетки при высоких и низких температурах.

31. Модели теплоемкости Эйнштейна и Дебая. Теплоемкость в модели Дебая.
32. Вклад свободных электронов в теплоемкость металлов.
33. Тепловое расширение твердых тел.
34. Теплопроводность твердых тел

в) План семинарских занятий по дисциплине.

1. Механизмы возникновения различных типов взаимодействия в твердых телах.
2. Кристаллическая структура твердых тел с различным типом взаимодействия.
3. Тензорное описание физических свойств кристаллов.
4. Геометрическая интерпретация симметричного тензора 2-го ранга.
5. Приведение к главным осям тензора напряжений и деформации.
6. Физический смысл компонент тензора бесконечно малой деформации.
7. Обобщенный закон Гука для анизотропного твердого тела.
8. Квантовая теория колебаний гармонического кристалла. Фононы. Тепловое возбуждение фононов.
9. Теплоемкость твердого тела в модели Дебая.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- после лекции просмотреть и обдумать текст конспекта (15 минут);
- накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей (15 минут);
- изучение теоретического материала по книгам и конспекту (1 час в неделю);
- работа с литературой в библиотеке и/или в ресурсах сети Интернет (1 час в неделю).

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. - М.: Высшая школа, 2000. - Гл. 2, 4, 5, 6.
2. Васильев Д.М. Физическая кристаллография. - М.: Металлургия, 1972. – Гл. 5, 6.
3. Смирнов А.А. Молекулярно-кинетическая теория металлов. - М.: Мир, 1966. - Гл. 2,7,8.
4. Най Дж. Физические свойства кристаллов. - М.: Мир,1967. - Гл. 6, 8.
5. Жирифалько Л. Статистическая физика твердого тела. М.: Мир, 1975. - Гл. 6, 8.
6. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. - М.: Мир, 1979. – Т.2, - Гл. 19, 20.

б) дополнительная литература:

1. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Электроны и фононы в металлах. - М.: Изд-во Московского университета, 1990. Гл. 1-5.
2. Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твердого тела. - М.: Наука, 1983. Гл. 1.2.
3. Амензаде Ю.А. Теория упругости. - М.: Высшая школа, 1971. - Гл. 1-4.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М.: ФММ, 1978. Гл 3,6.
5. Физическое металловедение. Под ред. Кана Р.У., Хаазена П. - М.: Металлургия. 1982. - Т.1, гл. 7.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/>
2. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>
3. Encyclopedia of crystallographic prototypes [Electronic resource] – Electronic data. – Durham, USA, 2021. – URL: <http://www.aflowlib.org/prototype-encyclopedia/>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standard 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX; системы компьютерной алгебры Wolfram Mathematica, Waterloo Maple;

– публично доступные облачные технологии (GoogleDocs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

– Электронный каталог [Электронный ресурс] / НИ ТГУ, Научная библиотека ТГУ. – Электрон. дан. – Томск, 2022. – URL: <https://koha.lib.tsu.ru/>

– Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Томск, 2022. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Издательство «Лань» [Электронный ресурс]:/ – Электрон. дан. – СПб., 2010. – URL: <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента [Электронный ресурс] / ООО «Политехресурс». – М., 2012. – URL: <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС Znanium.com [Электронный ресурс] / Научно-издательский центр Инфра-М. – Электрон. дан. – М., 2012. – URL: <http://znanium.com/>

– ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.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.

Все виды материально-информационной базы Научной библиотеки ТГУ.

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ.

### **15. Информация о разработчиках**

Корчуганов Александр Вячеславович, кандидат физико-математических наук, кафедры физики металлов физического факультета ТГУ, доцент.