

Федеральное государственное учреждение
«Федеральный научно-исследовательский центр
«Кристаллография и фотоника»
Российской академии наук»

Принято на Ученом совете ИК РАН
Протокол № 5 от 22.09.2020 г.

«Утверждаю»
Директор


О.А. Алексеева
«22» _____ 2020 г.

ПРОГРАММА
кандидатского экзамена
по дисциплине «Физика конденсированного состояния» (01.04.07)

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность: «Физика конденсированного состояния» (01.04.07)

Москва 2020

«Физика конденсированного состояния» (01.04.07)
по физико-математическим, техническим и химическим наукам

Введение

В основу настоящей программы положены основные разделы физики конденсированного состояния, касающиеся основных физических проблем данной области. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института физики металлов УрО РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева и Института металлургии им. Байкова РАН (программа утверждена приказом Минобрнауки Российской Федерации № 274 от 08.10.2007 г.).

1. Силы связи в твердых телах

Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

3. Дефекты в твердых телах

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

4. Дифракция в кристаллах

Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

5. Колебания решетки

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

6. Тепловые свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

7. Электронные свойства твердых тел

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.

Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.

Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

8. Магнитные свойства твердых тел

Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта, и Керра).

Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

10. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейсснера. Критическое поле и критический ток.

Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

Дополнительная программа промежуточного (кандидатского) экзамена по дисциплине «Физика конденсированного состояния»

«Поверхностно-чувствительные и спектрально-селективные рентгеновские методы анализа»

Рентгеновское, синхротронное излучение – получение и свойства. Лазеры на свободных электронах (FEL) – получение и свойства. Теоретические основы дифракции и рассеяния рентгеновского излучения. Устройства коллимации и монохроматизации рентгеновского излучения, типы детекторов. Методы регистрации ионизирующих излучений. Экспериментальная база структурных исследований - лабораторные дифрактометры, синхротронные и FEL станции.

Двух и трехкристальные схемы. Угловая и спектральная расходимость. Коллимация и монохроматизация рентгеновского пучка. Однокристалльный и многокристалльный монохроматор. Параллельная, непараллельная и антипараллельная геометрия. Двукристалльная кривая дифракционного отражения (КДО). Трехкристалльная КДО. Многоволновая КДО.

Рентгеноакустика. Классификация рентгеноакустических взаимодействий. Особенности коротковолнового, средневолнового, длинноволнового диапазона взаимодействий. Типы деформаций, рентгеноакустические резонаторы. Свойства рентгеноакустических резонаторов. Управление параметрами рентгеновского излучения: интенсивность, длина волны, угол. Стробоскопическая техника и методы регистрации.

Вторичные процессы при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом. Характеристический спектр атомов. Рентгенофлуоресцентный анализ.

Отражение, преломление и поглощение рентгеновского излучения, явление полного внешнего отражения. Условия формирования волнового поля стоячей рентгеновской

волны в области полного внешнего отражения и в условиях береговой дифракции. Схема экспериментальной реализации метода стоячих рентгеновских волн. Возможности применения метода стоячих рентгеновских волн.

«Механические свойства кристаллов»

Классы точечной симметрии кристаллов. Электрострикция и магнитострикция. Линеаризованный пьезомагнетизм. Динамическое уравнение упругости с учетом вязкости среды. Механический вектор Пойтинга.

Особые направления в кристаллах: акустические оси, поперечные и продольные нормали. Особая объемная волна. Уравнение Кристоффеля. Фазовые скорости и векторы поляризации собственных упругих волн. Групповая и лучевая скорости волн. Волны Стоунли, Лява и Лэмба. Физические явления в акустике, целиком обусловленные анизотропией кристаллов: коническая рефракция волн, концентрирование энергии, фононная фокусировка.

Поверхностные волны в чисто упругих средах. Формализм Стро. Теорема существования и единственности Барнетта-Лоте. Квазиобъемные волны. Соотношение между фазовой, групповой и лучевой скоростями. Поверхностные волны в пьезоэлектриках. Обобщение формализма Стро и теории Лоте-барнетта.

Перемещение точечных дефектов по кристаллу. Различия краевой, винтовой и смешанной дислокации. Дислокационное скопление, дислокационная стенка. Дислокационная модель дисклинации. Частичные дислокации. Дефект упаковки. Пластическая деформация двойникованием.

Релаксация напряжений в кристаллах. Скольжение дислокации. Переползание дислокации. Динамическое торможение дислокаций. Экспериментальное изучение динамики дислокаций.

Особенности высокотемпературной деформации кристаллов. Измерение микро- и нанотвердость кристаллов. Механизмы бездислокационной пластичности, их реализация в кристаллах.

«Методы электронной микроскопии для визуализации и анализа структуры микро- и наносистем»

Преимущества использования ПЭМ, по сравнению с другими методиками исследования. Радиационные повреждения образцов в ПЭМ. Полупроводниковые детекторы, сцинтилляторы-ФЭУ и их преимущества и недостатки. Получение изображений кристаллической решетки. Картины Муара.

Электронная томография. Энергодисперсионный спектрометр. Волновой спектрометр. Принципы работы растрового микроскопа. Системы растрового микроскопа.

Устройство ионных источников ФИП. Применение ФИП в исследованиях материалов.

«Ядерные резонансные методы исследования конденсированного состояния»

Особенности резонансных методов исследования конденсированного состояния. Квадрупольное взаимодействие. Определение резонансной частоты колебательного контура. Метод Ядерного магнитного резонанса. Мёссбауэровская спектроскопия.

Комплекс программ для анализа мессбауэровских спектров на ЭВМ. Возможности и ограничения программы Univem.

Особенности регистрируемых мессбауэровских спектров наночастиц оксидов железа.

«Органические и биоорганические материалы: получение, структура и свойства»

Типы и принципы формирования органических капсул и упорядоченных пленок. Молекулярная организация и свойства биологических мембран. Физико-химические свойства белковых растворов. Получение органических и биоорганических материалов и систем

Способы создания полимерных капсул. Методы получения упорядоченных органических пленок. Основные методы кристаллизации белков. Кристаллизация белков методом диффузии паров растворителя в висючей капле. Кристаллизация белков методом встречной диффузии. Свойства белковых кристаллов.

Методы исследования устойчивости органических, биоорганических и гибридных систем

Оптические, рентгеновские и электронографические методы структурной диагностики.

Особенности организации органических пленок на поверхности жидкости. Белки, их строение, свойства, функции. Для чего необходимо знать трехмерные структуры белков.

Основные этапы исследования пространственной структуры белков методом рентгеноструктурного анализа. Методы исследования функциональных свойств фоточувствительных органических систем.

Комплексы программ для решения задач белковой кристаллографии на ЭВМ. Возможности программ Mosfilm, Phaser, Refmac, Coot, PyMol.

«Актуальные проблемы физики сегнетоэлектричества»

Тензорное описание свойств, тензоры четных и нечетных рангов; пьезоэлектрический эффект и электрострикция. Спонтанная поляризация, обращение спонтанной поляризации (сегнетоэлектричество). Принцип Неймана - Кюри.

Свободная энергия Гиббса, уравнения состояния с учетом нелинейных членов. Термодинамический потенциал Ландау-Гинзбурга. Вид ЛГД потенциала для фазовых переходов I и II рода. Диэлектрический P-E гистерезис. Закон Кюри-Вейсса. Электрофизические методы исследования сегнетоэлектрических свойств и фазовых переходов.

Переполяризация реального сегнетоэлектрического кристалла. Активационная модель переключения: механизм нуклеации, критический размер зародыша, механизм бокового движения доменной стенки. Поля смещения, обратное переключение. Связь формы доменов с симметрией кристалла. Методы исследования статики и динамики

доменов: токи переключения; поверхностные (химическое травление, декорирование, АСМ и РЭМ) и объемные (оптические, нелинейно-оптические) методы.

Тензоры линейного и квадратичного электрооптического эффекта для кристаллов низших сингоний. Оптическая индикатриса, ее изменение при приложении поля в одноосных кристаллах. Связь электрооптических коэффициентов со спонтанной поляризацией в сегнетоэлектриках. Нелинейная поляризация. Условие фазового синхронизма. Условие фазового квазисинхронизма. Микродоменная структура как эффективная нелинейная среда, нелинейные фотонные кристаллы.

Размерные эффекты в сегнетоэлектриках. Изменение сегнетоэлектрических свойств в наноразмерных сегнетоэлектриках (ультратонких пленках, нанокристаллах). Термодинамическое коэрцитивное поле, пороговое переключение. Нанодомены (полярные кластеры). Проводимость и фотовольтаический эффект на доменных границах.

Принцип сегнетоэлектрической памяти, устройства типа FeRAM. Электрооптические модуляторы: принцип фазовой модуляции, продольный и поперечный электрооптический эффекты, полуволновое напряжение. Природа волноводного эффекта; методы получения оптических волноводов. Регулярные микродоменные структуры для преобразования частоты и пространственной модуляции лазерного излучения.

«Основы физики и применение жидких кристаллов»

Симметрия кристаллов и их наблюдаемые свойства. Принципы Неймана и Кюри. Фазовые переходы в жидкокристаллических средах. Переходы первого и второго рода в жидких кристаллах.

Свободная энергия и уравнения Эйлера-Лагранжа для нематиков.

Теория Майера-Заупе.

Времена релаксации поля директора в нематических ЖК. Положительная и отрицательная диэлектрическая анизотропия. Двухчастотные ЖК. Главные показатели преломления ЖК и оптическая задержка. Фотонные свойства хиральных ЖК.

Методы измерения толщин жидкокристаллических слоев. Емкостной способ измерения коэффициентов упругости. Использование рефрактометра Аббе для измерения главных показателей преломления.

Оптика однородно ориентированных слоев ЖК. Модуляция оптической задержки с помощью электрического поля.

Оптические свойства холестерических жидких кристаллов. Понятие фотонной зоны. Дисперсионные соотношения и поляризационные свойства хиральных ЖК с геликоидальным распределением поля директора.

Оптические элементы жидкокристаллических дисплеев (ЖКД). Способы формирования электрического поля в ЖКД. Типы электрооптических эффектов, используемых в ЖКД.

«Рентгеновские методы исследования не полностью упорядоченных систем»

Диапазон рентгеновских длин волн и энергий. Отличительные особенности рентгеновского излучения. Основные виды взаимодействия рентгеновского излучения с

веществом. Основные методы рентгеновских исследований.

Виды источников рентгеновского излучения. Принцип работы рентгеновской трубки. Принцип работы синхротронного источника. Принцип работы сцинтилляционного детектора.

Преимущества и недостатки рентгеновского рассеяния перед атомно-силовой микроскопией. Сущность PSD-функции и её связь с рельефом поверхности. Сущность эффекта Ионеды (аномальное рассеяние).

Сущность типов томографии (РКТ, МРТ и др.), их сходства и различия. Недостатки обычной рентгенографии. Закон Бэра.

Метод преобразования Фурье решения уравнения Радона на основе теоремы о слое. Метод свёртки и обратных проекции решения уравнения Радона на основе теоремы о слое.

Отличие рассеяния на монокристаллах от рассеяния на неупорядоченных или частично упорядоченных структурах. Информативность данных малоуглового рассеяния, применение теоремы Котельникова-Шеннона. Достоинства и ограничения метода малоуглового рассеяния. Основные особенности конструкции малоугловых дифрактометров.

Преимущества и недостатки используемых в дифракционных экспериментах источников излучения, рентгеновских и нейтронных.

«Когерентное взаимодействие ультракоротких рентгеновских импульсов с веществом»

Современные экспериментальные методики для импульсных источников рентгеновского излучения (pump – probe, imaging).

Детекторы и методы обработки данных эксперимента с РЛСЭ (рентгеновскими лазерами на свободных электронах).

Общее описание станций РЛСЭ для жесткого и мягкого рентгена.

Рентгеновская оптика для сверхярких импульсных источников.

«Рост кристаллов»

Движущая сила кристаллизации. Критерий Джексона. Кинетика дислокационного роста и двумерного образования зародышей. Методы кристаллизации из растворов, расплавов, паровой фазы. Методы эпитаксии.

Образование дислокаций при росте кристаллов из растворов и расплава. Захват примесей: механизмы релаксации кристалла. Зонарное и секториальное строение кристалла. Механизмы захвата включений различной природы.

Уравнение конвективной диффузии. Конвекция Марангони.

Свойства диаграмм Скрейнемакерса. Критерий объемно-дефицитного и объемно-избыточного замещения. Причины, определяющие зонарность смешанных кристаллов.

«Рост, структура и современные методы исследования поверхности тонких пленок»

Методы роста тонких пленок. Технология молекулярно-лучевой эпитаксии.
Основные узлы установки для проведения молекулярно-лучевой эпитаксии.

Механизм послойного роста (Франка–ван дер Мерве). Механизм островкового роста (Вольмера–Вебера). Механизм Странского - Крастанова.

Построение модели роста.

Основы метода дифракция быстрых электронов на отражение.

Слежение в реальном времени за следующими параметрами роста: чистота поверхности; температура образца; ориентация подложки; скорость роста.

Основы метода СЗМ. Контактная и полуконтактная СЗМ.

Методика фазового контраста. Применение методики фазового контраста для идентификации фаз.

«Современные методы моделирования структуры и свойств неорганических и органических материалов»

Симметрия кристаллов и их наблюдаемые свойства. Принципы Неймана и Кюри.
Фазовые переходы в кристаллических средах. Переходы первого и второго рода в жидких кристаллах.

Кинематическая и динамическая теория дифракции, пределы применимости.
Двухволновое и многоволновое приближения. Сходство и различие поляризационных явлений для фотонов и нейтронов.

Классификация дефектов кристаллической решетки, полные и частичные дислокации. Дислокации: контур и вектор Бюргерса. Взаимодействие дислокаций с примесями. Упругое взаимодействие дислокаций и его связь с пластичностью кристаллов, дислокационные реакции, диссоциация дислокаций

Вариационный принцип Хоэнберга-Кона. Принципы построения нормосохраняющих потенциалов в теории функционала плотности

Механизм формирования оптических свойств конденсированных сред.

Принципы теории локального поля. Оптические свойства композитов на основе наноразмерных металлических частиц и структур.

Функциональные свойства метаматериалов и субволновых решеток.

Квазистатическое приближение для наноразмерных частиц

Эпсилон-метод и задача на собственные значения интегрального оператора.
Программирование в среде Matlab.

Нетрадиционные магнетики, мультиферроники. Магнитная анизотропия кристаллов, магнитные явления, связанные с взаимодействием Дзялошинского-Мории.
Пространственно неоднородные магнитные структуры: периодические и аperiodические.

Основная литература:

1. Современная кристаллография. В четырех томах. Вайнштейн Б.К. 1979 г. Издательства Наука.
2. Проблемы кристаллологии. Издательство Московского Университета. 1971 г.
3. Проблемы кристаллографии. 1987 г. Издательство «Наука».

4. Физика конденсированного состояния. Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. 2014г. Издательство Бином. Лаборатория знаний. 293 с.
5. Павлов Павел Васильевич, Хохлов Александр Федорович
Физика твердого тела: Учебник. Изд. 4-е. – М.: ЛЕНАНД. 2015. – 496с.
6. Л.Д. Ландау, А.И. Ахиезер, Е.М. Лифшиц. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2014.
7. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковальчук. 2011 г. Москва, ИКЦ «Академкнига». Тома 1 и 2.
8. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2013г. Издательство Физматлит, 293 с.
9. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том IX: Статистическая физика. Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц 2015г. Издательство Физматлит, 440 с.
10. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. 2013 г. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ». 616 с.
11. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 318с.:
12. Хельтье Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтье, В. Зиппль, Д. Роньян, Г. Фолькерс; пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 319с.
13. Кристаллография. Лабораторный практикум. Под редакцией Е.В. Чупрунова. Москва. Физматлит, 2005.

Дополнительная литература:

1. Структурные исследования кристаллов. 1996 г. Наука Физматлит.
2. Б. К. Вайнштейн. Кристаллография и жизнь. 2012 г. Москва Физматлит.
3. Жидкие кристаллы Структура и свойства Л. М. Блинов 2015 г. Издательство Либроком. 484 с.
4. Кристаллология. Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. Завьялов Е.Н. 2016г. Издательство Книжный дом «Университет» (КДУ), 314 с.
5. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью
Фейнмановские лекции по физике: Вып.1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 11-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. – 448с.;
Вып.3: Излучение. Волны. Кванты: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. – 256с.;
Вып.4: Кинетика. Тепло. Звук: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. - 272с.;
Вып.5: Электричество и магнетизм: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. стереотип. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. - 304с.;
Вып.6: Электродинамика: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. - 360с.;
Вып.7: Физика сплошных сред: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. - 288с.;

Вып.8, 9: Квантовая механика: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 8-е. – М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2014. - 528с.

6. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью
Фейнмановские лекции по физике: Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 1-4: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. А.П.Леванюка. Изд. 9-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2015. - 280с; Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 5-9: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. А.П.Леванюка. Изд. 9-е. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2016. - 272с.

Периодические издания, электронные ресурсы, включая доступ к базам данных и т.д.:

РИНЦ	https://elibrary.ru/orgs.asp
Web of Science	http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=F2LiEv3BvmxwoCqmOmV&preferencesSaved=
Scopus	https://www.scopus.com/home.uri
Google Scholar citations	https://scholar.google.ru/citations?user=NbJEoV8AAAAJ&hl=ru
IOP Institute of Physics материалы компании IOP Publishing Limited, а именно, база данных IOP Journal	http://www.iop.org/
AIP материалы компании American Institute of Physics	https://www.aip.org/
CASC материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC	https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases
APS Журналы Американского физического общества база данных APS Online Journals	https://www.aps.org/
IEEE	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp

<p>материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно, база данных IEEE/IEL</p>	
<p>RSC материалы Royal Society of Chemistry</p>	<p>http://pubs.rsc.org/</p>
<p>Wiley материалы компании John Wiley & Sons Ltd., а именно база данных Wiley Journals</p>	<p>http://onlinelibrary.wiley.com/</p>
<p>Inspec материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных INSPEC</p>	<p>https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec</p>
<p>ProQuest материалы компании и PROQUEST LLC, а именно база данных Proquest Dissertations and Theses Global</p>	<p>https://www.proquest.com/products-services/pqdtglobal.html</p>
<p>SpringerNature Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно: Springer Journals Springer Protocols Springer Materials Springer Reference zbMATH Nature Journals Nano Database</p>	<p>http://link.springer.com/ http://www.springerprotocols.com/ http://materials.springer.com/ http://link.springer.com/search?facet-content-type=%22ReferenceWork%22 http://zbmath.org/ http://npg.com/ https://nano.nature.com</p>
<p>Elsevier B.V. Science Direct Complete</p>	<p>https://www.elsevier.com/</p>

Freedom Collection зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct	
CCDC - Cambridge Crystallographic Data Centre Зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных	https://www.ccdc.cam.ac.uk/
Scifinder База данных	https://scifinder.cas.org