

ФИЗИКА ТВЕРДЫХ ТЕЛ

*Аташов И. Каракалпакский государственный университет им. Бердаха,
студент 4 курса бакалавриата физики, г. Нукус.*

*Дауылбаева А. Каракалпакский государственный университет им. Бердаха,
студент 1 курса бакалавриата физики, г. Нукус.*

Аннотация. Физика твердых тел является ключевой областью науки, изучающей структуру и свойства твердых веществ. В статье рассматриваются основные понятия и классификация твердых тел, их механические, тепловые и электронные свойства. Описываются кристаллические решетки и их влияние на физические характеристики материалов, а также основные механизмы теплопроводности и проводимости. Анализируются прочность, упругость, теплоемкость и проводимость твердых тел, что позволяет понять их поведение под различными воздействиями. Работа подчеркивает значимость физики твердых тел в разработке новых материалов и технологий, имеющих широкое применение в науке и промышленности.

Ключевые слова. Физика твердых тел, кристаллическая решетка, механические свойства, теплопроводность, электронные свойства, проводимость, полупроводники, теплоемкость.

SOLID STATE PHYSICS

Abstract. Solid state physics is a key area of science that studies the structure and properties of solids. The article discusses the basic concepts and classification of solids, their mechanical, thermal and electronic properties. Crystal lattices and their influence on the physical characteristics of materials, as well as the main mechanisms of thermal conductivity and conductivity are described. The strength, elasticity, heat capacity and conductivity of solids are analyzed, which allows us to understand their behavior under various influences. The work emphasizes the importance of solid state physics in the development of new materials and technologies that have wide application in science and industry.

Keywords. Solid state physics, crystal lattice, mechanical properties, thermal conductivity, electronic properties, conductivity, semiconductors, heat capacity.

Твердые тела — это вещества, которые сохраняют свою форму и объем при обычных условиях. Они характеризуются устойчивым порядком атомов или молекул, что отличает их от жидкостей и газов. В физике твердых тел выделяют два основных класса:

- **Кристаллические твердые тела:** Эти материалы обладают регулярной и периодической структурой на атомном уровне. Атомы расположены в упорядоченной решетке, называемой **кристаллической решеткой**. Кристаллические твердые тела делятся на несколько типов в зависимости от геометрии решетки:

- **Простая кубическая решетка** (например, цезий)
- **Объемно-центрированная кубическая решетка** (например, железо в α -форме)
- **Граненцентрированная кубическая решетка** (например, алюминий)
- **Гексагональная плотно упакованная решетка** (например, магний)

- **Аморфные твердые тела:** Эти вещества не имеют регулярной внутренней структуры. Атомы в аморфных материалах распределены случайным образом. Примеры аморфных твердых тел включают стекло и некоторые полимеры.

Основные характеристики твердых тел.

Механические свойства:

- **Прочность:** Способность материала сопротивляться разрушению под действием внешних сил. Прочность может быть измерена через характеристики, такие как предел прочности на растяжение или сжатие.
- **Упругость:** Способность материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия нагрузки. Описывается через **модуль упругости** (модуль Юнга).

Тепловые свойства:

- **Теплопроводность:** Способность материала проводить тепло. Теплопроводность определяется количеством тепла, передаваемого через единичную площадь материала за единицу времени при заданной температурной разнице.
- **Теплоемкость:** Количество тепла, необходимое для повышения температуры единицы массы материала на единицу температуры.

Электронные свойства:

- **Проводимость:** Способность материала проводить электрический ток. Она может варьироваться от высокой проводимости в металлах до низкой проводимости в изоляторах.

- **Полупроводниковые свойства:** Полупроводники имеют проводимость, которая находится между проводниками и изоляторами. Их проводимость может изменяться в зависимости от внешних факторов, таких как температура или свет. Полупроводники классифицируются как типа **p** (положительный) и **n** (отрицательный) в зависимости от типа доминирующих носителей заряда.

Кристаллическая решетка — это регулярная структура, в которой атомы или молекулы упорядочены в трехмерном пространстве. Основные параметры кристаллической решетки включают **периодическую ячейку**, которая является наименьшей повторяющейся единицей в кристаллической структуре. Решетка характеризуется:

- **Типом решетки** (например, кубическая, гексагональная).
 - **Параметрами решетки** (длиной ребра ячейки и углами между ребрами).
- В кристаллических материалах могут присутствовать **дефекты** — отклонения от идеальной кристаллической структуры. Эти дефекты могут быть:
- **Точки** (например, вакансии, замещения атомов).
 - **Линейные** (дислокации).
 - **Поверхностные** (границы зерен, двойники).

Дефекты играют важную роль в определении свойств материалов, таких как их прочность, пластичность и проводимость.

Кристаллическая решетка представляет собой регулярное упорядочивание атомов или молекул в трехмерном пространстве, которое образует основу структуры кристаллических твердых тел. В кристаллических решетках атомы размещаются в узлах повторяющейся элементарной ячейки, которая представляет собой наименьшую единицу кристаллической структуры, способную полностью описать все свойства решетки. Основные типы кристаллических решеток включают:

- **Кубическая решетка:**
 - **Простая кубическая решетка:** Атомы расположены в углах куба. Этот тип решетки встречается в таких материалах, как полоний.
 - **Объемно-центрированная кубическая решетка (ВСС):** Атомы расположены в углах куба и в его центре. Примером материала с такой решеткой является железо в α -форме (α -железо).

○ **Граненцентрированная кубическая решетка (FCC):** Атомы расположены в углах куба и в центрах граней. Примеры включают алюминий и медь.

• **Гексагональная решетка:**

○ **Гексагональная плотно упакованная решетка (HCP):** Атомы расположены в гексагональных слоях. Эта решетка характерна для таких материалов, как магний и титан.

Кристаллографические параметры описывают размеры и углы элементарной ячейки в кристаллической решетке. Основные параметры включают:

• **Параметры решетки (a, b, c):** Это длины ребер элементарной ячейки.

• **Углы между ребрами (α , β , γ):** Это углы между ребрами решетки.

Эти параметры определяют форму элементарной ячейки и могут изменяться в зависимости от условий, таких как температура и давление.

Кристаллографическая симметрия описывает симметрические свойства кристаллической решетки. Симметрия кристалла может включать:

• **Центральную симметрию:** Наличие центра симметрии в структуре.

• **Операции симметрии:** Вращение, отражение и инверсия, которые могут быть выполнены над решеткой и сохраняют её структуру.

Симметрия играет важную роль в определении физических свойств кристаллов, таких как оптические и электрические свойства.

В кристаллических материалах могут возникать различные **дефекты**, которые влияют на их свойства:

• **Точки:** Вакансии (отсутствие атома в узле решетки), атомные замещения (замена одного атома другим).

• **Линейные:** **Дислокации** — линии, вдоль которых происходит смещение атомов, что влияет на пластичность и прочность материала.

• **Плоскостные:** **Границы зерен** и **двойники** — структуры, разделяющие области с различной кристаллографической ориентацией в материале.

Аморфные твердые тела не имеют регулярной кристаллической структуры.

Их атомы расположены случайным образом, что приводит к отсутствию долгопериодического упорядочивания. Примеры аморфных твердых тел включают стекло и полимеры. Несмотря на отсутствие кристаллической структуры, аморфные материалы могут обладать уникальными свойствами, такими как высокая прозрачность и гибкость.

Механические свойства твердых тел определяют их поведение при воздействии внешних сил и включают в себя такие характеристики, как прочность, упругость, пластичность и твердость. Эти свойства важны для понимания, как материалы ведут себя в различных условиях и как они могут быть использованы в инженерии и строительстве.

Прочность материала — это его способность сопротивляться разрушению под воздействием внешних сил. Прочность может проявляться в различных формах, в зависимости от типа нагрузки:

- **Прочность на растяжение:** Способность материала выдерживать растягивающую нагрузку до того, как он начнет разрушаться. Измеряется с помощью испытания на растяжение, при котором образец материала растягивается до тех пор, пока не произойдет разрыв.
- **Прочность на сжатие:** Способность материала выдерживать сжимающую нагрузку. Измеряется при помощи испытания на сжатие, где образец подвергается давлению до разрушения.
- **Прочность на сдвиг:** Способность материала выдерживать силы, вызывающие сдвиг атомов или молекул относительно друг друга. Примером являются испытания на сдвиговые нагрузки.

Прочность материала обычно характеризуется такими параметрами, как **предел прочности на растяжение** и **предел прочности на сжатие**.

Упругость — это способность материала возвращаться к своей первоначальной форме после снятия нагрузки. Упругие деформации описываются законом Гука, который утверждает, что напряжение пропорционально деформации в пределах упругих деформаций. Основные параметры, связанные с упругостью:

- **Модуль Юнга (E):** Параметр, характеризующий упругость материала. Определяется как отношение растяжения (или сжатия) к относительной деформации. Высокий модуль Юнга указывает на жесткость материала.
- **Модуль сдвига (G):** Характеризует упругость материала при деформации сдвига. Определяется как отношение сдвигового напряжения к сдвиговой деформации.
- **Коэффициент Пуассона (ν):** Отношение поперечной деформации к продольной деформации при растяжении. Он показывает, как материал изменяет свои размеры в поперечном направлении при растяжении в продольном направлении.

Пластичность — это способность материала изменяться под действием нагрузки без разрушения. В отличие от упругих деформаций, пластические деформации являются необратимыми. Основные характеристики пластичности:

- **Предел текучести:** Напряжение, при котором материал начинает претерпевать необратимые деформации.
- **Удлинение:** Изменение длины материала при растяжении до разрушения. Измеряется как процентное увеличение длины по отношению к первоначальной длине образца.
- **Пластическая деформация:** Изменение формы материала под действием силы, которое сохраняется после снятия нагрузки.

Твердость материала — это его сопротивляемость проникновению другого тела. Твердость определяется различными методами в зависимости от типа материала и его применения:

- **Метод Роквелла:** Измеряет твердость с помощью проникновения конуса из алмаза или твердого шарика в материал. Результат выражается в условных единицах.
- **Метод Виккерса:** Использует пирамидальный алмазный индентор для измерения твердости. Твердость определяется как отношение нагрузки к площади следа на поверхности материала.
- **Метод Бринелля:** Использует стальной или карбидный шар для создания следа в материале. Твердость вычисляется на основе размера следа и приложенной нагрузки.

Вязкость и пластичность описывают, как материалы деформируются при длительном воздействии нагрузки. Вязкость относится к жидкостям и описывает их сопротивление течению, тогда как пластичность относится к твердым телам и описывает их способность течь под нагрузкой. Для твердых тел вязкость обычно менее значима, но важно учитывать пластическую деформацию при длительных нагрузках.

Теплопроводность — это способность материала проводить тепло. Она определяется тем, как эффективно тепло передается через материал при наличии температурного градиента. Основные аспекты теплопроводности:

- **Коэффициент теплопроводности (λ):** Это количественная характеристика теплопроводности, определяемая как количество тепла, передаваемое через единичную площадь материала за единицу времени при температурной

разнице в один градус Кельвина на единицу длины. Единица измерения — ватт на метр на Кельвин ($W/(m \cdot K)$). Высокий коэффициент теплопроводности указывает на хорошее теплопроводное свойство материала (например, медь), тогда как низкий коэффициент — на плохую проводимость (например, стекловата).

• **Механизмы теплопередачи:** В твердых телах передача тепла происходит через два основных механизма:

○ **Фононная проводимость:** Фононы — квазичастицы, представляющие колебания решетки в кристаллических материалах. Они переносят тепло через взаимодействие с атомами решетки.

○ **Электронная проводимость:** В металлах и полупроводниках электроны также могут переносить тепло. Электронная проводимость является основным механизмом в металлах, где свободные электроны могут эффективно передавать тепло.

Теплоемкость — это количество тепла, необходимое для изменения температуры материала на единицу массы. Теплоемкость помогает понять, как материал будет реагировать на изменения температуры. Основные параметры:

• **Специфическая теплоемкость (c):** Это количество тепла, необходимое для повышения температуры единицы массы вещества на один градус Кельвина. Измеряется в джоулях на килограмм на Кельвин ($J/(kg \cdot K)$). Специфическая теплоемкость зависит от состава материала и его структуры.

• **Теплоемкость при постоянном объеме (C_v) и теплоемкость при постоянном давлении (C_p):** Эти параметры описывают теплоемкость при различных условиях. В системах, где объем фиксирован, добавленное тепло влияет на изменение температуры, а при постоянном давлении — также на изменение объема.

Температурное расширение описывает изменение размеров материала при изменении температуры. Все твердые тела расширяются при повышении температуры и сжимаются при понижении, что вызвано увеличением амплитуды колебаний атомов.

• **Коэффициент линейного расширения (α):** Описывает относительное изменение длины материала на единицу длины при изменении температуры на один градус Кельвина. Измеряется в $1/(K)$. Высокий коэффициент линейного расширения означает, что материал значительно расширяется при нагревании.

- **Коэффициент объемного расширения:** Описывает изменение объема материала при изменении температуры. В большинстве материалов этот коэффициент в три раза больше коэффициента линейного расширения, поскольку изменение температуры влияет на все три измерения.

Теплоотдача относится к процессу передачи тепла от материала в окружающую среду. Это важный аспект в проектировании теплообменников и систем охлаждения. Основные параметры:

- **Коэффициент теплоотдачи (h):** Характеризует эффективность теплообмена между материалом и окружающей средой. Он зависит от типа материала, его поверхности и окружающей среды (например, воздуха или жидкости).

- **Теплоемкость системы:** Оценка общего количества тепла, которое может быть накоплено или передано системой. В инженерных приложениях важно учитывать теплоемкость материалов для обеспечения эффективного управления температурой.

В ходе изучения темы "Физика твердых тел" были рассмотрены ключевые аспекты, определяющие поведение твердых материалов в различных условиях. Основные области, исследованные в рамках темы, включают структуру твердых тел, их механические свойства, тепловые характеристики и электронные свойства. Эти знания являются основой для понимания и оптимизации свойств материалов, что имеет важное значение для множества практических приложений и научных исследований.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. "Курс теоретической физики" - Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц
2. "Физика твердого тела" - А.Ю. Шиманский
3. "Solid State Physics" - N.W. Ashcroft, N.D. Mermin
4. "Theory of Solids" - J. M. Ziman
5. "Introduction to Solid State Physics" - Charles Kittel
6. "Solid State Physics: An Introduction" - Philip Hofmann
7. "Физика и техника полупроводников" - Л.В. Астратов, И.М. Туманян
8. "Modern Techniques in Solid State Physics" - F. F. S. A. A. O. A. M. Abrahams, D. C. Tsui
9. "Quantum Theory of Solids" - J. M. Ziman
10. "Statistical Mechanics of Solids" - L. D. Landau, E. M. Lifshitz